

Utvärdering av en markvattenmodells förmåga att estimerera markfuktighet och bärighet

*Evaluating a soil water model's ability to estimate soil moisture and
bearing capacity*

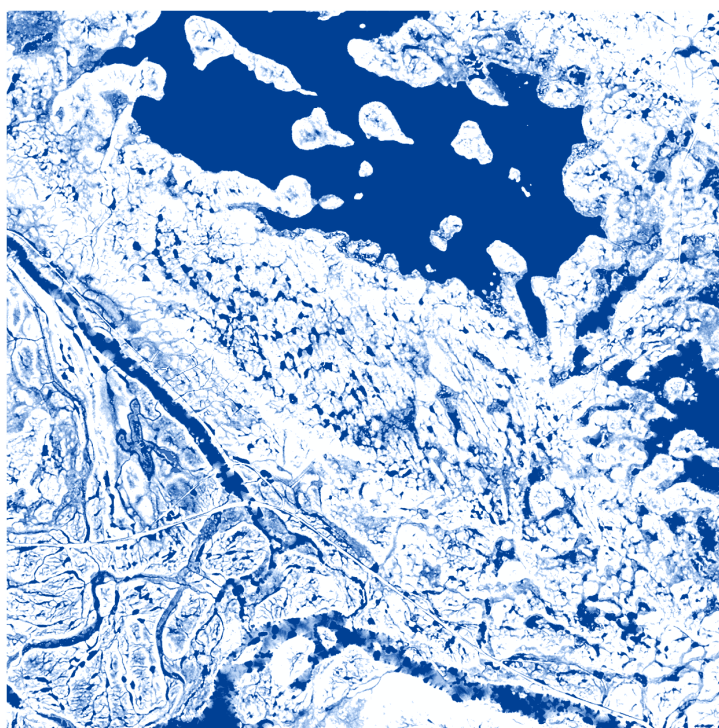


Bild: Dianthus AB

Joshua Johansson



Examensarbeten

Fakulteten för skogsvetenskap
Institutionen för skogens ekologi och skötsel

2017:2

Utvärdering av en markvattenmodells förmåga att estimerar markfuktighet och bärighet

*Evaluating a soil water model's ability to estimate soil moisture and
bearing capacity*

Joshua Johansson

Keywords / Nyckelord:

Bärighet, grundförhållande, körsador, markfuktighet, markfuktighetskartor,
markvattenmodeller / *Bearing capacity, ground conditions, rutting, soil moisture, soil moisture
maps, soil water models*

ISSN 1654-1898

Umeå 2017

Sveriges Lantbruksuniversitet / *Swedish University of Agricultural Sciences*

Fakulteten för skogsvetenskap / *Faculty of Forest Sciences*

Jägmästarprogrammet / *Master of Science in Forestry*

Examensarbete i skogshushållning / *Master degree thesis in Forest management*

EX0770, 30 hp, avancerad nivå A2E / *advanced level A2E*

Handledare / *Supervisor*: Tord Magnusson

SLU, Inst för skogens ekologi och skötsel / *SLU, Dept of Forest Ecology and Management*

Bitr handledare / *Assistant supervisor*: Anton Grafström

SLU, Inst för skoglig resurshushållning / *SLU, Dept of Forest Resource Management*

Examinator / *Examiner*: Göran Hallsby

SLU, Inst för skogens ekologi och skötsel / *SLU, Dept of Forest Ecology and Management*

I denna rapport redovisas ett examensarbete utfört vid Institutionen för skogens ekologi och skötsel, Skogsvetenskapliga fakulteten, SLU. Arbetet har handletts och granskats av handledaren, och godkänts av examinator. För rapportens slutliga innehåll är dock författaren ensam ansvarig.

This report presents an MSc/BSc thesis at the Department of Forest Ecology and Management, Faculty of Forest Sciences, SLU. The work has been supervised and reviewed by the supervisor, and been approved by the examiner. However, the author is the sole responsible for the content.

Förord

Detta examensarbete är en del i Jägmästarprogrammet och omfattar 30 högskolepoäng. Initiativet till examensarbetet kommer från Sveaskog AB. Sveaskog använder markfuktighetskartor i sin dagliga verksamhet för att underlätta vid bland annat planering av skogliga åtgärder. Sveaskog ville därför utvärdera hur väl kartorna stämmer överens med markfuktighetsförhållandet i skogsmarken. Markfuktighetskartorna har levererats av Dianthus AB som skapat kartorna utifrån den nationella höjdmodellen. Studien genomfördes under hösten 2016 och våren 2017 och skrevs vid institutionen för skogens ekologi och skötsel, Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) i Umeå.

Jag skulle vilja tacka alla inblandade som gjort examensarbetet möjligt. Ett särskilt stort tack riktar jag till min handledare Tord Magnusson vid institutionen för skogens ekologi och skötsel som gett mig en inblick i vattnets rörelser i skogsmarken. Jag vill även tacka min biträdande handledare Anton Grafström vid skoglig resurshushållning. Dessutom vill jag tacka Johan Ekenstedt vid Sveaskog för ett bra initiativ och ett spännande ämne att skriva om, samt Fredrik Walter vid Dianthus. Slutligen vill jag också rikta ett stort tack till alla som känner att dom på sitt eget vis bidragit till detta examensarbete.

Tack!

Joshua Johansson, januari 2017

Sammanfattning

Vattendrag och markvatten påverkar en betydande del av Sveriges skogsmark och transporterar material och näringsämnen i landskapet. Körskador och kompaktion av marken som kan uppstå vid skogliga åtgärder där tunga maskiner används kan påverka den lokala hydrologin. Problemen med körskador uppmärksammas av flera aktörer inom skogssektorn och har lett till en branschgemensam körskadepolicy. Markens bärighet är kopplad till markfuktigheten och negativa effekter av körskador är större på fuktiga och blöta områden. Vid bedömning i fält delas markfuktigheten in i fem klasser som beskriver det långvariga markfuktighetsförhållandet. Bärigheten graderas i en femgradig skala och bedöms genom en avvägning av markfuktigheten, jordarten, texturen och vegetationen. Genom att använda digitala höjdmodeller och algoritmer som beskriver vattenflödet i skogsmarken kan markfuktigheten datorsimuleras och områden som löper risk att vara fuktiga identifieras.

I studien jämförs modellerad markfuktighet mot fältbestämd markfuktighet. Den modellerade markfuktigheten representeras via ett *Relative Wetness Index* (RWI). 522 provpunkter inom 150 km från Lycksele tätort besöktes i fält. Uppgifter samlades in om markfuktigheten, skogstypen (vegetationen), jordarten, texturen och förekomsten av diken. Med hjälp av de insamlade uppgifterna bestämdes bärigheten. Den modellerade markfuktigheten klassades med *k-Nearest Neighbour* (k-NN) för att överensstämma med fältbestämda markfuktighetsklasser. Den modellerade markfuktigheten klassades också med k-NN för att överensstämma med bedömda bärighetsklasser. Jordarten har en stor betydelse för markfuktighetskartans tillförlitlighet. På områden med jordarten morän kan områden som löper risk att vara fuktiga identifieras. Förekomsten av diken påverkar inte tillförlitligheten i datorsimuleringen av markfuktighet i någon större utsträckning. Datorsimulering av bärighet utifrån markfuktighetskartan har låg tillförlitlighet.

Nyckelord: Bärighet, Grundförhållande, Körskador, Markfuktighet, Markfuktighetskartor, Markvattenmodeller

Summary

Networks of streams and water movement in the soil affects a large part of the forest land in Sweden. Water transports materials and nutrients between different parts of the landscape. The use of heavy machines while managing the forest can lead to rutting and soil compaction. Rutting and soil compaction can lead to a change in the local hydrology. The problems connected with rutting has been observed by several actors within the forestry sector and has lead to a branch of industry-wide policy addressing the problems. Forest soils bearing-capacity is connected to the soil moisture content and negative effects of rutting are more prominent on moist and wet soils. The soil moisture is commonly field-classified in five classes describing the long-term soil moisture condition. The bearing capacity is field-graded in a scale ranging from the values 1 to 5. The bearing capacity is graded using the soil moisture, soil type, texture and vegetation. The soil moisture can be computer modelled by using digital elevation models and algorithms that describe the flow of water in the soil. The computer modelled soil moisture can be used to identify areas that are more prone to being moist and wet.

In this study the computer modelled soil moisture is compared to field-classified soil moisture. The computer modelled soil moisture is represented with a *Relative Wetness Index* (RWI). 522 field-plots within a study area of a radius of 150 kilometers from Lycksele city centre were field-visited. At each field-plot variables on soils moisture, vegetation, soil type, texture and incidence of ditches was observed and collected. The bearing capacity was determined by using the collected variables. *k-Nearest Neighbour* (k-NN) was used to classify the computer modelled soil moisture into soil moisture classes corresponding to field-classified soil moisture classes. The computer modelled soil moisture was also classified with k-NN to correspond with field-graded bearing capacity. The soil art has a big impact on the reliability of classification of the computer modelled soil moisture. On soil arts determined as moraine the computer modelled soil moisture can be used to identify areas that are more prone to being moist and wet. The incidence of ditches does not affect the reliability of the classification of the computer modelled soil moisture to any greater extent. Classification of bearing capacity using the computer modelled soil moisture has low reliability.

Keywords: Bearing capacity, Ground conditions, Rutting, Soil moisture, Soil moisture maps, Soil water models

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1 INLEDNING	6
1.1 Vattnets rörelse i skogsmarken	6
1.2 Skogsbrukets påverkan på vattnet i skogsmarken	6
1.3 Markfuktighetsmodeller	7
1.4 Sveaskogs markfuktighetskarter	8
1.5 Bärighet i skogsmarken	9
1.5.1 Fastmarkers bärighet	9
1.5.2 Torvmarkers bärighet	10
1.6 Fastmarkers markfuktighet	10
1.7 Torvmarkers markfuktighet	11
1.8 Syfte	12
2 MATERIAL & METOD	13
2.1 Urval av trakter	13
2.2 Markfuktighetskarter	14
2.3 Provpunkter	14
2.3.1 Föranalys av provpunkter	15
2.4 Databesamling	16
2.4.1 Torvmarker	17
2.5 Databehandling	17
2.6 k-NN-klassifikation	18
2.6.1 Jordartseffekter	19
2.6.2 Dikningseffekter	19
2.6.3 Sammanslagning av markfuktighetsklasser	19
2.6.4 Ytterligare utvärdering av klassning	19
2.7 Förväxlingsmatriser	19
3 RESULTAT	21
3.1 Markfuktighet	21
3.1.1 Provpunkternas fördelning över markfuktighetsvärden och markfuktighetsklass	21
3.1.3 Jordartens påverkan	22
3.1.4 Dikningspåverkan	24
3.1.5 Sammanslagning av markfuktighetsklasser	25
3.1.5.1. Sammanslagning av markfuktighetsklasser per jordart	26
3.1.6. Ytterligare utvärdering av datorklassning av markfuktighet	26

3.2 Bärighet.....	27
3.2.1 Provpunkternas fördelning över markfuktighetsvärden och bärighetsklass	27
3.2.2 <i>k</i> -NN-klassning.....	28
3.2.3 Jordartens påverkan.....	29
3.2.3.1 Morän.....	30
3.2.4 Dikningspåverkan.....	31
3.2.5 Ytterligare utvärdering av datorklassning av bärighet	32
4 DISKUSSION	33
4.1 Resultat.....	33
4.1.1 Resultat markfuktighet.....	33
4.1.2 Resultat bärighet	34
4.1.3 Jämförelse med tidigare studier och litteratur	35
4.2 Kritisk granskning av utvärderingsmetod	36
4.2.1 Styrkor och svagheter med studien.....	36
4.2.2 Behov av fortsatt forskning	36
4.3 Förslag på tillämpning av markfuktighetskartorna	37
4.4 Slutsatser	38
5 REFERENSER.....	39

1 INLEDNING

1.1 Vattnets rörelse i skogsmarken

Hur vatten rör sig i landskapet har en stor påverkan på hela Sveriges skogsmark. Vattendrag och markvatten påverkar en betydande del av den totala skogsmarksarealen och transporterar material och näringsämnen i landskapet (Gregory et al. 1991). Vatten tillförs via nederbörd och det vatten som inte avdunstar genom evaporation och transpiration, eller binds i marken, förflyttar sig mot lägre delar i terrängen. Vattnet är antingen ”fritt” eller ”bundet”. Det fria vattnet är fritt att röra sig på eller i marken och söker sig nedåt i terrängen på grund av gravitationen. Det bundna vattnet hålls fast i marken, i den omättade zonen ovan grundvattenytan, på grund av kapillärkrafter. Vattnet i terrängen kan också delas upp i ytvatten och grundvatten. Ytvatten är vatten på markytan, det vill säga det vatten som syns i tillfälliga vattensamlingar och i vattendrag och sjöar (Magnusson, 2009). Grundvatten är det vatten som finns där alla hålrum i jorden eller berggrunden är helt vattenmättade (Naturvårdsverket, 2014). Grundvattnet är i konstant rörelse ned mot lägre delar av terrängen. Grundvattenytan finns inte på samma djup överallt och kan variera beroende på markens förmåga att binda vatten och den mängd nytt vatten som tillförs. I svackor och lägre delar i terrängen kan grundvattnet återfinnas vid markytan och ses i form av ytvatten.

När marken tillförs vatten via nederbörd infiltrerar det genom markytan och sjunker ner mot grundvattnet. Den drivande faktorn är gravitationen, men jordens partikelstorlek påverkar flödes hastigheten. Olika jordar har alltså olika infiltrationskapacitet. Om tillförseln av nederbörd överstiger infiltrationskapaciteten uppstår ytvatten och ytaavrinning (Magnusson, 2009). Finkorniga jordarter med många små porer kan binda mer vatten än jordarter med större fasta partiklar och därmed porer (Troedsson, 1955). När en jordart fuktats upp till sin maximala vattenbindande förmåga uppstår fritt vatten, vilket drivs ned mot grundvattnet på grund av gravitationen.

1.2 Skogsbrukets påverkan på vattnet i skogsmarken

Föryngringsavverkningar har en påtaglig effekt på vattenbalansen och hydrologin (Magnusson, 2009). Negativa effekter av markpåverkan vid föryngringsavverkning är större på fuktiga och blöta marker. Körskador som kan uppstå under föryngringsavverkningen och gallringar där tunga maskiner används kompakterar marken och påverkar vattnets rörelser vilket leder till en transport av sediment och finpartiklar ner mot lägre liggande delar i terrängen, samt påverkar markens gasutbyte, mark- och rotorganismers aktivitet och klimatet i marken (Naghdi & Solgi, 2014). Det är därför viktigt att kunna förutse förekomsten av och visa tillräcklig hänsyn till markvattnet vid gallringar och föryngringsavverkningar.

Problemen med körskador har uppmärksammats av flera olika aktörer inom skogsbruket. Körskador omfattas av 30 § i Skogsvårdslagen. Sveriges riksdag har satt upp sexton stycken miljökvalitetsmål där hänsynen till vattnet i skogsmarken är starkt bidragande för att nå målen (Naturvårdsverket, 2012). Skogsnäringen har utvecklat en branschgemensam miljöpolicy för att undvika körskador på skogsmark (Skogsindustrierna & LRF Skogsägarna, 2014). Sveaskog har varit delaktig i utformandet av den branschgemensamma miljöpolicyen och jobbar aktivt med att förhindra att körskador uppkommer.

1.3 Markfuktighetsmodeller

Fjärranalys blir ett allt vanligare inslag i det moderna skogsbruket och SkogForsk (svenska skogsbrukets forskningsinstitut) pekar i två rapporter på att nya planeringsunderlag och avverkningsmetoder bör ligga i fokus för att minska körskador vid skogliga åtgärder (Sonesson et al. 2014; Sonesson et al. 2012). Markfuktighetskarter är ett exempel på nya planeringsunderlag som har utvecklats explosionsartat de senaste åren och som de flesta skogsbolag och andra aktörer inom skogsbruket inkorporerat i planeringsarbetet – så även Sveaskog vilket de presenterade i ett pressmeddelande 2015 (Sveaskog, 2015). I en annan rapport pekar Bergkvist och Friberg (2016) också på att entreprenörer, maskinförare och tjänstemän inom skogsnäringen uppfattar markfuktighetskarter som en positiv utveckling, men att tillförlitligheten i kartorna och hur de ska användas är frågor som måste utredas vidare

Vattenflödet i skogsmarken varierar kraftigt beroende på årstid (Schelker et al. 2013). Traditionella kartor som beskriver längd och utbredning av vattendrag, där kartorna baserats på flygbilder, missar till stor del mindre vattendrag och sankmarker. Fuktiga och blöta områden kan vara dolda under trädens krontak eller uppstår inte förrän grundvattenytan är nog hög (Ågren et al. 2015). Algoritmer för att datormodellera och beräkna vattnets flöde i marken har funnits sedan länge, men har varit begränsade av tillgången till digitala barmarkselevationsmodeller (*eng. DEM, Digital Elevation Model*) och datorkapacitet. Ur en digital höjdmodell kan attribut hämtas som kan användas för att modellera vattenflödet i modellen, exempelvis lutning och elevation för varje cell. De flesta tidiga vattenflödesmodeller har beräknat de högst belägna punkterna och därefter ackumulerat vattenflödet ner mot lägre delar i terrängen (Moore et al. 1991). Sådana modeller ger ett markfuktighetsindex, där ett högre värde indikerar en högre markfuktighet, som brukar kallas SWI (*eng. Soil Wetness Index*). SWI-modeller är vida använda och det har utvecklats flera olika algoritmer för att beräkna det ackumulerade vattenflödet (Sörensen et al. 2006).

Lantmäteriet har sedan 2009 arbetat med att ta fram en ny digital barmarks-höjdmodell med hög noggrannhet över Sverige. Mätningarna görs med LiDAR-teknik (*eng. Light Detection and Ranging*) och resulterar i en DEM med en upplösning på två gånger två meter och med en medelnoggrannhet på 0,5 meter. Idag har hela Sverige förutom fjällkedjan skannats med LiDAR (Lantmäteriet, 2015). Den nya höjdmodellen har många användningsområden – inte minst inom skogsbruket.

I och med tillgången på bättre digitala modeller och bättre datorkapacitet utvecklas och förbättras modelleringen av vattenflöden. Ett alternativ till att modellera enligt algoritmer som ger ett SWI är en metod som kallas DTW (*eng. depth to water*). Det fria vattnets rörelser drivs av gravitation och topografin i landskapet ner mot vattendrag och sjöar, där grundvattnet ligger i markytan i form av ytvatten. Genom att ta hänsyn till omgivande topografi och modellera grundvattenflödet relativt till djupet (elevationen, i meter) och lutningen i terrängen till närmsta kända öppna vattenflöde exempelvis sjöar, åar och tjärnar kan markfuktighetsmodellen hantera olika landskapsvariationer. För varje punkt i modellen beräknas dess vertikala avstånd till närmsta kända ytvatten. DTW-modellen modellerar alltså markytans avstånd ned till grundvattnet för varje punkt i modellen, baserat på dess avstånd till närmaste ytvatten. Årstidsvariationer kan hanteras genom att variera tillförseln av vatten i modellerna (Murphy et al. 2009; Ågren et al. 2014)

Både markfuktighetsmodeller som modellerar ett ackumulerat vattenflöde och markfuktighetsmodeller som modellerar djupet till grundvattenytan ger en indikation på markfuktigheten. DTW-modellen har dock generellt högre tillförlitlighet (Murphy et al. 2009). Områden som i DTW-modellen klassificerats som fuktiga löper också större risk att drabbas av körsador vid skogliga åtgärder (Bergkvist et al. 2014a; Ågren et al. 2015), men markpåverkan är även beroende av jordens struktur (Campbell et al. 2013).

Markfuktighetsmodeller beräknar inte bärigheten i skogsmarken i sig, men markens bärighet är kopplad till markfuktigheten. Generellt blir bärigheten sämre med ökande vattenhalt (Greacen & Sands, 1980). Det är främst kohesionen och friktionen mellan partiklarna i marken som avgör markens bärighet. Andra faktorer som påverkar bärigheten inkluderar markens förmåga att motstå kompaktion och förekomst av armerande rötter samt större stenar och block. Olika marker har därför olika grundförutsättningar (Terzaghi et al. 1996). Tidigare utvärderingar av DTW-markvattenmodeller pekar på att det är problematiskt att modellera kohesionen i finare jordar och att modellernas tillförlitlighet påverkas negativt vid förekomst av vägar och diken eftersom modellen inte tar hänsyn till effekterna av sådan dränering på grundvattenytans läge (Bergkvist et al. 2014b).

1.4 Sveaskogs markfuktighetskarter

Sveaskogs markfuktighetskarter bygger på rådata från lantmäteriets höjdmodell. Genom att använda de laserpunkter som klassificerats som barmark vid lantmäteriets laserskanning har en DEM framställts med en upplösning på 1 x 1 meter. Punkter i den framställda DEMen som saknade höjdvärden "fylls igen" (slätas ut) genom att interpolera värden från omgivande barmarkpunkter. Vid framtagningen av RWI (*eng. Relative Wetness Index*) modelleras ytvattnets och det rörliga markvattnets flöde utifrån varje barmarkpunkts elevation och lutning. Vattnet ackumuleras ned mot lägre punkter i terrängen. En högre ackumulering och en mindre lutning ger ett högre relativt markfuktighetsindex i resulterande markfuktighetskarta. Metoden för framtagandet av RWI är ekvivalent med metoden för framtagandet av det tidigare nämnda SWI. Markfuktighetskartan genereras i två steg. Det första steget innebär att mindre sänkor i DEMen fylls igen, annars skulle dessa fungera som slukhål för vattenflöden från högre belägna områden. Det gör även att modellen i viss mån kan hantera förekomsten av vägar och vägtrummor eftersom diken

som ligger intill vägar i många fall fylls igen. Därmed gör inte förekomsten av vägar att vattenflödet stoppas upp. I nästa steg tillförs vatten. Då bevaknas DEMen med en enhet vatten per markpunkt. Varje markpunkts vatten fördelar sig till dess lägre belägna grannpunkter. Vattnet fördelas proportionellt till respektive lutning till grannpunkterna. Flödet avbryts i det fall vatten ackumulerats över mer än 2 ha.

Efter att alla flöden har ackumulerats till alla markpunkter beräknas RWI för varje markpunkt som:

$$RWI = \ln((Ackumulerat\ flöde) / \tan(markpunktens\ lutning))$$

De relativa markfuktighetsvärdena fördelar sig typiskt mellan 1 och 20, där ett lägre värde representerar ett torrare förhållande och ett högre ett fuktigare/blötare.

I de markfuktighetskartor som Sveaskog använder i sin verksamhet används trösklade RWI-värden för att representera markfuktigheten och visualiseras med en blåskala. Det innebär att RWI-värden under 7,5 har så lite ackumulerat vattenflöde att de benämns som ”NoData” och visualiseras med en vit färg i blåskalan. Dessa anses då erfarenhetsmässigt visa på ett torrt förhållande i skogsmarken. Markpunkter med ett RWI-värde på 13 och högre anses erfarenhetsmässigt vara blöta. Därför visualiseras dessa markpunkter med en mörkblå färg i blåskalan och benämns med ett RWI-värde på 13. För RWI-värden mellan 7,5 och 13 visualiseras markfuktigheten med en blåskala som går från ljusblå vid lägre RWI-värden (och därmed torrare markfuktighetsförhållanden) mot en mörkare blå färg vid högre RWI-värden (och därmed blötare markfuktighetsförhållanden) (Walter, 2017, pers. komm.)

1.5 Bärighet i skogsmarken

I det praktiska skogsbruket idag används vanligtvis en klassningsskala för att i fält beskriva grundförutsättningarna för utförandet av en slutavverkning eller gallring. Den vanligaste är GYL-klassningen. Förkortningen GYL står för *Grundförhållande*, *Ytstruktur* och *Lutning*, vilket kan användas för att övergripande bestämma hur och när en skoglig åtgärd såsom slutavverkning och gallring bör göras (Lundqvist et. al. 2014).

Grundförhållandeklassningen är ett mått på markens bärighet. Att korrekt bedöma markens bärighet är en förutsättning för att undvika körskador. I norra Sverige klassas grundförhållandet (bärigheten) efter en femgradig skala där jordart, markvegetation (skogstyp), markfuktighet och armering av rötter och block vägs samman (Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, 1969).

1.5.1 Fastmarkers bärighet

En fastmarks förmåga att motstå kompaktion och spårbildning avgörs främst av kohesionen och friktionen mellan jordens partiklar. Kohesion mellan jordpartiklar beror framför allt på ytspänningen i de vattenfilmer som bildas mellan jordpartiklar och som

sammanlänkar dem. Ytspänning och adhesion är det som gör att jordar kan binda och behålla vatten. Adhesion är en vattenmolekyls förmåga att binda sig mot jordens partiklar. Tillsammans gör ytspänningen och adhesionen att en jord med många fina partiklar har möjlighet att binda och bibehålla mer vatten. Kohesionskraften ökar vid lägre vattenhalt och ökad kompaktion av marken, vilket leder till en ökad bärighet. Friktion uppstår när grövre partiklar i jorden fysiskt låser mot varandra. I jordar med grövre partiklar och stor friktion mellan partiklarna kan en ökad vattenhalt leda till en ökad bärighet (Brady & Weil, 2002). I friktionsjordar är dock partiklarnas form och storlek mycket avgörande för bärigheten (Greacen & Sands, 1980).

1.5.2 Torvmarkers bärighet

I det praktiska skogsbruket görs ingen skillnad mellan olika torvtyper, med avseende på bärighet. I GYL-klassningen tillförs torvmarker alltid till den sämsta grundförhållandeklassningen (Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, 1969). Torvmarker uppstår när topografiska och klimatiska faktorer gör att grundvattnet är i nivå med eller högre än markytan och blir stillastående under hela eller en betydande del av året. Det leder till syrgasbrist och minskad nedbrytning av organiska ämnen. (Paavilainen & Päivänen, 1995). I Sverige används gränsen att marken innehåller 20 % eller mindre inorganiskt material för att definieras som torv och består karakteristiskt av organiskt material i varierande grad av nedbrytning (Carlsten, 1988). Torvmark definieras som marker där torvens mäktighet är mer än tre decimeter (Lundmark, 1988). Även om bärigheten generellt sett är sämre på torvmarker så varierar den beroende på torvens fuktighet och torvens uppbyggnad (Päivänen & Hånell, 2012).

1.6 Fastmarkers markfuktighet

Fuktigheten i skogsmarken är beroende av avståndet ned till grundvattnet, jordens kornstorleksfördelning, humushalt och klimatet. Markfuktigheten påverkas även av skogsbruksåtgärder och förekomsten av diken (Magnusson, 2009). Markfuktigheten kan bestämmas genom att mäta det volymetriska eller viktsrelaterade vatteninnehållet eller indirekt genom att mäta vattnets undertryck i marken (Charlesworth, 2005). Den senare metoden kräver dock specialiserad utrustning och båda metoder kan vara kostsamma och tidsödande. I det praktiska skogsbruket används därför en metod där den omgivande topografin, en bedömning av grundvattenytan och effekter av högre eller lägre markfuktighet bedöms i fält – främst markvegetation, trädens beståndsegenskaper och jordmånstypen. Exempelvis att fuktiga markförhållanden ofta leder till att träd växer på socklar (små förhöjningar i markytan), eller att barrträd inte alls uppträder beståndsbildande under blöta förhållanden (Riksskogstaxeringen, 2014). Markvegetationens artsammansättning och utbredning är kopplad till vattenbalansen i jorden och mellan jorden och atmosfären och kan användas för att bestämma markens långvariga fuktighet (Eagleson, 1978). Artsammansättningen ger en indikation på den

långvariga och genomsnittliga markfuktigheten, även om grundvattennivån och mängden bundet och fritt markvatten kan variera mellan årstider och mellan år.

1.7 Torvmarkers markfuktighet

På grund av lägre tillväxt, mindre arealer och tillgång till mer lättillgänglig mark har torvmarker traditionellt sett varit av mindre betydelse för skogsbruket än fastmark. Det gör att kunskapsnivån för skogsbruk på torvmark är förhållandevis låg. Under slutet av 1800-talet och början av 1900-talet gjordes omfattande åtgärder med dikning av stora arealer torvmark. Syftet var att höja produktionen och motverka en, som man ansåg, försumpning av landskapet och istället anlägga skogsodlingar. Efter att restriktionerna mot dikning kraftigt skärptes har dikningsverksamheten sedan 1990-talet minskat. Idag finns återigen ett ökat intresse att bedriva skogsbruk på många torvmarker då dessa under lång tid varit obrukade och har ett i genomsnitt högt virkesförråd. Metoder för att fuktighets- och bärighetsklassificera torvmarker specifikt finns inte och det finns stora kunskapsluckor om både fuktigheten och bärigheten på torvmarker (Drott, 2016). Även om torvmarker generellt är belägna nära grundvattenytan och är fuktiga så kan skogsbruksåtgärder och diken sänka grundvattenytan avsevärt från dess naturliga tillstånd, avgörande är dikenas djup och utbredning samt trädbeståndets avdunstning. Grundvattenytan påverkar signifikant torvmarkers produktionsförmåga ner till ett djup av 35-40 cm (Sarkkola, 2012), och nya diken kan påverka grundvattennivån på ett ännu större djup än så beroende på dikenas djup och utbredning. Dikesrensning av redan befintliga diken och kompletteringsdikning påverkar också torvens ytskikt och kan sänka grundvattenytan ner till 10 cm lägre än dess nuvarande tillstånd (Drott, 2016).

1.8 Syfte

Syftet med denna studie är att utvärdera tillförlitligheten i de markfuktighetskartor Sveaskog använder i sin verksamhet. Det görs genom att datorklassa markfuktighetskartan i fem markfuktighetsklasser, samt fem bärighetsklasser, och sedan testa dem mot fältmätta värden för markfuktighet och bärighet.

2 MATERIAL & METOD

2.1 Urval av trakter

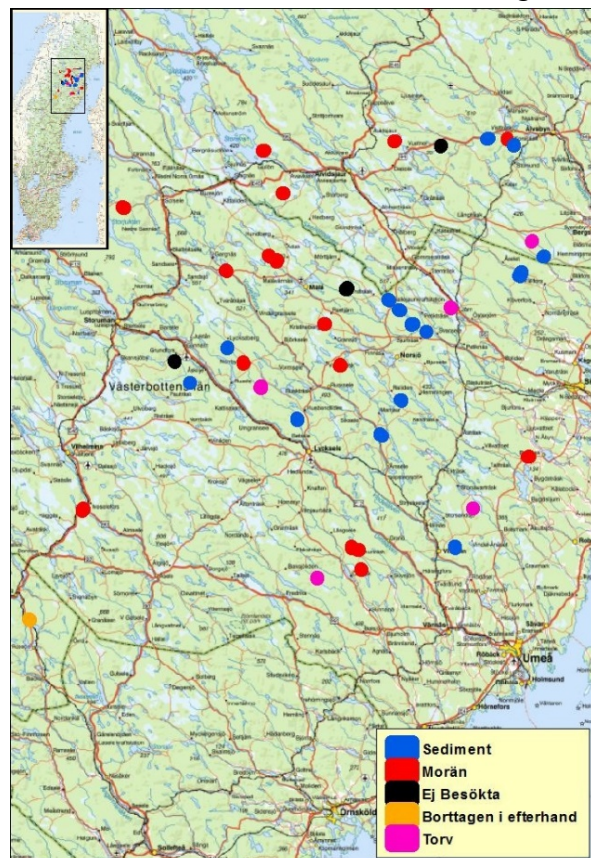
En fältinventering gjordes för att utvärdera tillförlitligheten i de markfuktighetskartor Sveaskog använder i sin praktiska verksamhet. Objekten besöktes med så liten tidsmässig skillnad som möjligt för att undvika skillnader i markvattenförhållanden som beror på årstid. För att undvika skillnader i markvegetation och markvattenförhållanden som kan ske vid en slutavverkning besöktes objekt där skogsbeståndet var 50 år eller äldre.

I samråd med Sveaskog bestämdes det att inventeringen skulle göras på objekt inom en radie på 150 km från Lycksele tätort och inom en begränsad tidsperiod under augusti månad 2016. Objektens storlek varierade mellan 10 och 20 hektar och samtliga innehöll varierande markfuktighetsförhållanden, d.v.s. att de innehöll minst tre olika värden i markfuktighetskartan. För att kunna utvärdera markfuktighetskartans tillförlitlighet på morän-, sediment- och torvmarker för sig gjordes ett stratifierat urval utifrån Sveaskogs register över bestånd.

Objekten som inkluderas i inventeringen skulle uppfylla följande kriterier:

- Objekten skall bestå av äldre bestånd (> 50 år gamla)
- Objekten skall vara avgränsade geografiskt (inom 150 km radie från Lycksele tätort)
- Objekten skall vara av lämplig storlek (>10 ha - <20 ha)
- Objekten skall ha en varierande markfuktighet (Innehålla minst 3 olika värden i markfuktighetskartan)
- Objekten skall ha en geografisk spridning (någorlunda jämnt i alla väderstreck)
- Objekten skall vara fördelade över olika jordarter
- Objekten skall bestå av ett antal dikade bestånd

Ur Sveaskogs register över samtliga objekt över 50 års ålder i området uteslöts alla objekt som var mindre än 10 ha och större än 20 ha bort. Det gjordes för att inte för stora objekt skulle minska variationen och den geografiska spridningen i det insamlade datat, men att de ändå ska vara värda att besöka med hänsyn till antalet provpunkter i beståndet. Därefter gjordes ett stratifierat slumpmässigt urval där totalt 42 objekt valdes ut (Figur 1). Av de 42 objekten bestod sex stycken av jordarten torv,



Figur 1. Objekt som valdes ut för fältbesök.

Figure 1. Objects chosen for field-visit.

femton stycken av jordarten sediment (varav två dikade) och tjugoen stycken av jordarten morän (varav sex dikade). Det förväntades att fler objekt skulle vara dikade än vad som framgick av registret. Objekten kontrollerade utefter kriterierna och om inte kriterierna uppfylldes gjordes en ny urvalsprocess. Stratifieringen säkerställde att samtliga jordarter samt dikning inkluderades i inventeringen och att en bra klassning kunde göras inom varje stratum, men samtidigt att flest provpunkter lades ut på objekt som i registret var markerade som morän – för att säkerställa en så bra klassning som möjligt sett utifrån alla objekt inom området.

2.2 Markfuktighetskarter

Den datormodellerade markfuktigheten på objekten representerades med markfuktighetskarter. I studien användes de markfuktighetskarter som används inom Sveaskogs praktiska verksamhet och där markfuktigheten representeras med trösklade RWI-värden och visualiseras med en färg i en blåskala.

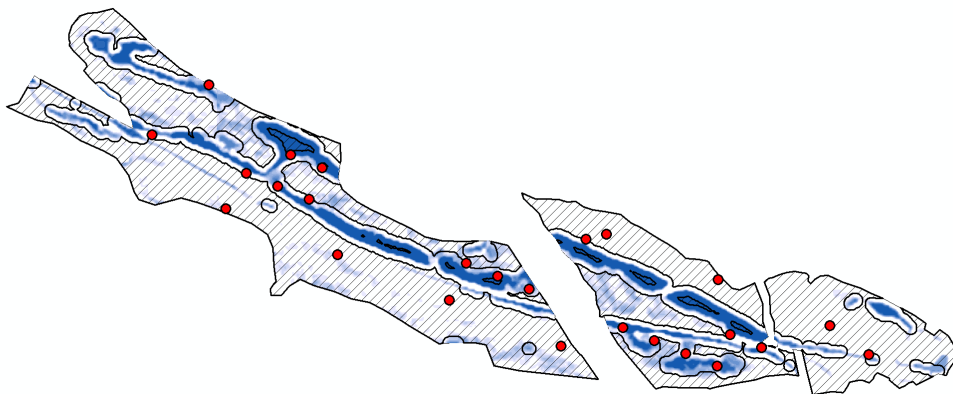
Under utläggningen av provpunkter och föranalys av provpunkter användes ett markfuktighetsraster där elva diskreta värden mellan 1 och 11, samt ett NoValue, i rastret representerade markfuktigheten. Dessa tolv värden representerar det markfuktighetsförhållande som tagits fram genom RWI-modelleringen och som sedan trösklats. Ett högre värde indikerar ett fuktigare markförhållande och NoValue indikerar torra markförhållanden. Under extraheringen av markfuktighetsvärden (RWI) och den efterföljande utvärderingen med k-NN-klassning användes en shapefil (ett format för att hantera vektordata i GIS) där den trösklade markfuktigheten representerades av polygoner med tolv diskreta värden mellan 7,5 och 13 där ett högre värde representerar ett fuktigare markförhållande, samt med ett NoValue som representerar torra markfuktighetsförhållanden.

Båda kartorna baseras på samma markfuktighetsmodell och visar samma markfuktighetsförhållande. Ett raster är lättare att hantera och kräver mindre datorkapacitet. Det var att föredra vid utläggningen av provpunkter och vid föranalysen. På grund av upplösningen i rasterkartorna kan en del information generaliseras. Därför användes vektorkartorna vid utvärderingen.

2.3 Provpunkter

Med hjälp av programvaran ArcGIS (ArcMap 10.3) från ESRI delades markfuktighetsrastret för varje trakt in i två stratum utifrån övergångszoner mellan olika markfuktighetsvärden. Det gjordes genom att varje pixel i markfuktighetsrastret med värde från 7 och till och med värde 9 fick en buffertzona runt sig. Buffertzonen sträckte sig sju meter runt varje pixel med ett värde mellan 7 och 9 i markfuktighetsrastret. Värdena representerar markfuktighetsförhållandet och genom praktisk erfarenhet av att använda kartorna inom Sveaskogs verksamhet fanns en uppfattning av att värdena 7, 8 och 9 representerade en markfuktighet som i fält bedöms som markfuktighetsklasserna *frisk-fuktig* eller *fuktig*. Lägre värden uppfattades som att de speglar en markfuktighetsklass som

i fält bedöms som *torr* eller *frisk* mark och högre värden uppfattades som att de speglar ett fuktigare markförhållande som i fält bedöms som *blöt* mark. I och med en högre inventeringsintensitet inom buffertzonen hamnar därför fler provpunkter i områden som markfuktighetsrastret indikerar som fuktiga än om samma inventeringsintervall använts överallt. Inom buffertzonen användes ett inbördes avstånd av 45 meter mellan provpunkterna. Utanför buffertzonen användes ett inbördes avstånd av 160 meter mellan provpunkterna (figur 2). Rutnätet med inventeringspunkter skapades med verktyget "Repeating shapes" av Jennes Enterprises som finns som tillägg till ArcMap.



Figur 2. Ett av de besökta objekten med utlagda provpunkter markerade med rött. Markfuktigheten visualiseras med en blåskala där en mörkare blå färg indikerar högre markfuktighet. Inventeringsintensiteten är lägre på områden utanför buffertzonen (markerat med snedstreckade linjer).

Figure 2. One of the objects visited, with field-plots marked in red. The soil-moisture is visualized with a blue color-scale where a darker blue color indicates a higher soil moisture. The intensity of inventory is lower in areas outside the bufferzone (marked with oblique strokes).

2.3.1 Föranalys av provpunkter

Innan fältinventeringen gjordes en föranalys av provpunkterna där det säkerställdes att samtliga tolv värden i markfuktighetsrastret fanns representerade. I ArcMap extraherades varje provpunkts värde utifrån markfuktighetsrastret och importerades till Excel. Där kontrollerades att provpunkterna hade en bra fördelning över värden i markfuktighetsrastret inom varje strata.

Totalt resulterade detta i 566 provpunkter att besöka i fält, där i slutändan 522 besöktes eftersom fyra trakter med jordarten morän inte kunde besökas på grund av att de var otillgängliga vid inventeringstillfället. Ytterligare en trakt med jordarten torv och 18 punkter togs bort i efterhand då det saknades markfuktighetskarta i vektorformat över den trakten. I fält användes en Ipad, jordsond, måttstock, okulär besiktning och en differentiell GPS-mottagare för att samla in 15 variabler vid varje provpunkt.

2.4 Datainsamling

Vid varje provpunkt samlades 15 variabler in (tabell 1). En Ipad med programvaran Collector från ESRI installerad kopplad till en DGPS-mottagare (EOS Arrow 100), med ett rmse (root square mean error) på 0,3-1 m, användes för att navigera till provpunkterna och samla in variablerna. Vid provpunkten loggades dess exakta position med DGPS-mottagaren. En instruktion för datainsamlingen användes som följde vedertagna och sedan länge använda metoder och definitioner. Dessa hämtades från flera olika källor. Markfuktigheten klassades i fem markfuktighetsklasser och bestämdes via *Riksskogstaxeringens fältinstruktion* (Riksskogstaxeringen, 2014) med ytterligare förklarande text och illustration från *MarkInfo* (Lundin, 2016). De fem markfuktighetsklasserna var *torr*, *frisk*, *frisk-fuktig*, *fuktig* och *blöt*. Bärigheten klassades genom hjälpvariabler i fem bärighetsklasser enligt *skogstypschema för svenskt skogsbruk* (Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, 1969). De fem bärighetsklasserna graderades från 1 till och med 5, där värdet 1 anger en hög (bättre) bärighet och värdet 5 anger en låg (sämre) bärighet. Hjälpvariablerna bestod av jordarten, texturen, markfuktigheten, blockrikheten och skogstypen. Var armeringen i marken stor på grund av block höjdes bärigheten med en klass. För bestämning av jordart, textur och blockrikheten användes de praktiska metoder för bestämning av jordart och blockrikhet i fält som beskrivs i *Skogsmarkens Ekologi* (Lundmark, 1988). För bestämning av skogstyp användes *Det nordsvenska skogstypschema* (Arnborg, 1964). Bestämningen av jordart och textur grundas på kornstorleken i materialet och dess egenskaper – främst hur formbar jorden är vid lätt uppblötning. Texturen uppdelades i fem relativt grova klasser som sedan användes tillsammans med jordarten, markfuktigheten blockrikheten och skogstypen för att bestämma bärigheten enligt rapporten *Terrängtypschema för svenskt skogsbruk*. Bedömning om provpunkten påverkades av dikning gjordes subjektivt, där dikes läge och avstånd i förhållande till provpunkten var avgörande. För bestämning om diket fungerade, alltså att diket leder till förändrat markvattenförhållande, användes *Riksskogstaxeringens fältinstruktion*.

Tabell 1. Insamlade variabler vid varje provpunkt, samt dess enhet och definitions hänvisning
Table 1. Collected variables at each field-plot and the unit of each variable and definition reference

Variabel	Enhet	Definition och instruktion
Ägoslag	4 klasser	Enligt Riksskogstaxeringen (2014) (<i>nedbantad</i>)
Bedömt påverkat av skogliga åtgärder	Fritext	Subjektivt
Markfuktighet	5 klasser	Enligt Riksskogstaxeringen (2014) & Lundin (2016)
Skogstyp	16 klasser	Enligt Arnborg (1964)
Dikat (inklusive vägdiken)	Ja/nej	Enligt Riksskogstaxeringen (2014)
Fungerande dikning	Ja/nej	Enligt Riksskogstaxeringen (2014)
Bedömt dikningspåverkat	Ja/nej	Subjektivt
Blockrikhet	5 klasser	Enligt Lundmark (1988) & Forskningsstiftelsen Skogsarbeten (1969)
Jordart i fält	4 klasser	Enligt Lundmark (1988)
Textur i fält	5 klasser för sediment	Enligt Lundmark (1988)
	5 klasser för morän	
Jorddjup	4 klasser	Enligt Lundmark (1988)
Humuslagrets tjocklek	Centimeter	Enligt Riksskogstaxeringen (2014)
Koordinat	X&Y	EOS Arrow 100, DGPS
Datum	YY-MM-DD	
Notering	Fritext	

2.4.1 Torvmarker

Insamling av provpunkter på torvmarker behandlades på samma sätt som på övrig mark.

2.5 Databehandling

Efter avslutad fältinventering exporterades det insamlade datat från programvaran Collector och importerades i ArcMap. I ArcMap exporterades markfuktighetsvärdet från shapefilen med markfuktighetsvärden (RWI) för varje provpunkt och importerades till Excel. Bärigheten med fem bärighetsklasser bestämdes för varje provpunkt. För provpunkter som bedömts som blockrika höjdes bärigheten med en klass.

För varje provpunkt fanns därmed ett RWI-värde, en fältbestämd markfuktighet och en via hjälpvariabler bestämd bärighet. Provpunkter som hamnat på väg, i vägdiken och på hållmark och större block togs bort vilket resulterade i att av de 522 insamlade punkterna användes 480 till vidare analys. För klassning av markfuktighet delades provpunkterna proportionerligt upp per jordart och fältbestämd markfuktighetsklass slumpvis in i tränings- och testpunkter. För klassning av bärighet delades provpunkterna proportionerligt upp per jordart och bestämd bärighetsklass slumpvis in i tränings- och testpunkter. För datorsklassning av både markfuktighet och bärighet så användes 129 av de 480 provpunkterna som test-data, varav 15 dikade. Resterande 351 provpunkter användes som

tränings-data, varav 37 dikade. Provpunkterna exporterades till statistikprogrammet RStudio (RStudio, öppen källkod), där den modellerade markfukten (RWI-värdet) klassades för att motsvara markfuktighetsklassningen i fält. Då markfuktigheten har en stor påverkan på bärigheten testades det även om RWI-värdena kunde klassas för att motsvara bärighetsklasser. Det gjordes på samma sätt där det modellerade RWI-värdet klassades för att motsvara den via hjälpvariabler bestämda bärighetsklassningen. Klassningen gjordes med k-NN klassificering (*k-Nearest Neighbour*). Klassningen gjordes med $k=1$. Därefter exporterades de klassade värdena till Excel. I programmet Access från Microsoft jämfördes de datorklassade markfuktighets- och bärighetsvärdena med hur de klassats i fält och presenterades i form av förväxlingsmatriser.

2.6 k-NN-klassifikation

k-NN (*k-Nearest Neighbour*) är en simpel och effektiv algoritm för datorklassning. k-NN använder sig av ett tränings-dataset och ett test-dataset. Algoritmen är icke-parametrisk, vilket innebär att den inte gör några antaganden om datasetets fördelning. k-NN-algoritmen är också, vad som brukar kallas, en "lat" (*eng. lazy learning*) algoritm. Det innebär att det inte görs några antaganden eller förenklingar av tränings-datasetet i förväg utan att hela tränings-datasetet används vid klassningen. k-NN använder antalet närmaste grannar (k) i tränings-datasetet för att klassa en provpunkt med okänd klasstillhörighet (Duda et al. 2000).

I den här studien innebär det att k-NN ($k=1$) används för att utifrån provpunkternas RWI-värde tillföra dem till en markfuktighets- och bärighetsklass. RWI-värdet är det värde som i markfuktighetskartorna representerar markfuktighetsförhållandet. I tränings-datasetet finns 351 provpunkter – där varje provpunkt har ett RWI-värde och en i fält klassad markfuktighet och en bestämd bärighet. Test-datasetet med 129 provpunkter användes för att testa med vilken tillförlitlighet k-NN-algoritmen kan datorklassa provpunkterna i en markfuktighetsklass och en bärighetsklass. Varje provpunkt i test-datasetet har ett RWI-värde. För varje provpunkt i test-datasetet så använder algoritmen hela tränings-datasetet för att finna den *närmaste grannens* RWI-värde och tillför provpunkten till den markfuktighets- eller bärighetsklassen som den provpunkten i träningsdatasetet har.

Närmaste granne innebär den provpunkt som har samma RWI-värde, eller den provpunkt som har det RWI-värde som är närmast det värde, som provpunkten från test-datasetet har. Om flera provpunkter i tränings-datasetet har samma RWI-värde men är fältklassade i olika markfuktighets- eller bärighetsklasser så tillförs provpunkten från test-datasetet till den klass där flest provpunkter med samma RWI-värde finns. Om det är exakt lika många provpunkter med samma RWI-värde i olika klasser så avgör slumpen vilken klass provpunkten från test-datasetet hamnar i. Provpunkternas datorklassade markfuktighet och bärighet kan sedan jämföras med deras fältbestämda markfuktighet och bärighet för att utvärdera tillförlitligheten i k-NN-klassningen.

2.6.1 Jordartseffekter

Genom att exkludera provpunkter utifrån en viss fältbestämd jordart kunde effekten på k-NN-klassningen av den jordarten undersökas. Provpunkterna exkluderades både ur tränings-datat och test-datat. När punkterna exkluderats gjordes en ny k-NN-klassning och utvärdering på de resterande punkterna. Det gjordes på markfuktighet och på bärighet separat.

2.6.2 Dikningseffekter

Effekten av dikning på k-NN-klassningen undersöktes genom att provpunkter som bedömts som fungerande enligt riksskogstaxeringens instruktion och samtidigt subjektivt bedömts som att de påverkat provpunkterna exkluderades. Provpunkterna exkluderades både ur tränings-datat och test-datat. Därefter gjordes en ny k-NN-klassning och utvärdering på de resterande provpunkterna. Det gjordes på markfuktighet och på bärighet separat.

2.6.3 Sammanslagning av markfuktighetsklasser

Hur k-NN-klassningen påverkas av färre markfuktighetsklasser undersöktes genom att klasserna *Frisk-Fuktigt* och *Fuktigt* som de bedömts i fält sammanslogs till en klass. Den nya klassen kallades för *Fuktig*. Därefter gjordes en ny k-NN-klassning och utvärdering på de nya klasserna. Detta gjordes på markfuktighetsklassningen men inte på bärighetsklassningen.

2.6.4 Ytterligare utvärdering av klassning

För att utvärdera om k-NN-klassningarna i genomsnitt visar ett blötare eller ett torrare markfuktighetsförhållande i skogsmarken än vad som bedömdes i fält undersöks det hur många provpunkter som blivit korrekt klassade, samt om de klassats i en blötare respektive torrare klass. Detsamma gjordes för bärigheten. För bärigheten undersöktes det om den datorklassade bärigheten visar en högre eller lägre bärighet än den, via i fält insamlade hjälpvariabler, bestämda bärigheten i genomsnitt.

2.7 Förväxlingsmatriser

Att utvärdera noggrannheten för en klassificering som baseras på data från fjärranalys är en grundförutsättning för att kunna tolka och förbättra resultatet. Förväxlingsmatriser (*eng.*

Error Matrix) är det vanligaste sättet att utvärdera noggrannheten för med fjärranalys klassade områden (Congalton, 1991). En förväxlingsmatris består av en tabell uppbyggd av rader och kolumner som i varje cell visar antalet provpunkter med tillhörande RWI-värde som vid fjärrtolkningen tillförts en klass, samt det antal provpunkter som tillförts en klass vid fältinventeringen. Raderna representerar provpunkternas klasstillhörighet som de bestämts i fält och kolumnerna representerar provpunkternas fjärrtolkade klasstillhörighet. En förväxlingsmatris visar noggrannheten, träffsäkerheten, för hela klassificeringen (totala antalet provpunkter som tolkats lika som de klassades i fält). Ur matrisen kan man även utläsa användarnoggrannhet och producentnoggrannhet. Användarnoggrannheten är ett mått på andelen provpunkter i en tolkad klass som överensstämmer med fältbestämd klasstillhörighet. Producentnoggrannheten är ett mått på andelen provpunkter i en fältbestämd klass som tolkats rätt (Lillesand et al. 2015). Förenklat innebär en hög användarnoggrannhet att det är stor sannolikhet att en punkt på kartan är rätt klassad. En hög producentnoggrannhet innebär att en klass i fält har stor sannolikhet att tolkas rätt.

3 RESULTAT

3.1 Markfuktighet

3.1.1 Provpunkternas fördelning över markfuktighetsvärden och markfuktighetsklass

Sett över samtliga provpunkter, både provpunkter som slumpvis delats in i tränings-data och test-data har provpunkterna en stor spridning över värden i markfuktighetskartan (RWI). Ett högre RWI-värde förväntas innebära en fuktigare fältklassning. Provpunkternas fördelning skiljer sig dock från det förväntade i och med att många provpunkter som klassats som torra vid besök i fält ändå har höga värden i markfuktighetskartan (tabell 2). Det tyder på att markfuktighetskartorna, sett över samtliga provpunkter, inte ger en indikation av markfuktigheten på provpunkterna med hög tillförlitlighet. Totalen för varje rad anger antalet provpunkter i varje RWI-värde. Röd textfyllnad markerar i vilken fältbestämd markfuktighetsklass som flest provpunkter för varje RWI-värde återfinns. För de flesta RWI-värden är flest antal provpunkter i fält klassade som torra eller friska.

När RWI-värden datorklassas i markfuktighetsklasser för att överensstämma med fältbestämda markfuktighetsklasser visar det sig att jordarten har en stor påverkan på provpunkternas fördelning över RWI-värden (tabell 3, tabell 4, tabell 5 & tabell 6).

Tabell 2. Samtliga insamlingspunkters klassning av markfuktighet i fält och deras värde i markfuktighetskartan (RWI). Röd textfyllnad markerar i vilken fältbestämd markfuktighetsklass som flest provpunkter för varje RWI-värde återfinns

Table 2. All field-plots classification of soil moisture in the field and their value in the soil moisture-map (RWI). Red marking shows in what soil moisture-class most field-plots belong to for each RWI-value

RWI	Fältklassning, markfuktighet					Total
	Torr	Frisk	Frisk-Fuktig	Fuktig	Blöt	
0	28	88	13	2	1	132
7,5	6	23	15	6	2	52
8	10	11	12	4	2	39
8,5	6	8	14	5	2	35
9	8	5	4	7	4	28
9,5	17	4	7	3	0	31
10	12	7	2	6	2	29
10,5	15	7	1	3	4	30
11	18	5	2	0	1	26
11,5	7	1	2	3	0	13
12	3	2	3	2	1	11
12,5	4	0	1	1	1	7
13	16	7	6	5	13	47
Total	150	168	82	47	33	480

3.1.2 k-NN-klassning

En k-NN-klassning med samtliga provpunkter ger en träffsäkerhet på 48 %. Inga provpunkter klassas som *fuktiga* eller *blöta* (tabell 3). Det speglar förhållandet i tabell 2 (ovan) väl eftersom k-NN-klassningen använder en majoritetsomröstning av det antal provpunkter för varje RWI-värde som i fält klassats i en viss markfuktighetsklass.

Tabell 3. Förväxlingsmatris över fältklassad markfuktighet mot datormodellerad och klassad markfuktighet
Table 3. Confusion matrix of field-classified soil moisture compared to computer-modelled and classified soil moisture

Fältklassning	k-NN klassning, markfuktighet					Total	Producentnoggrannhet
	Torr	Frisk	Frisk- Fuktig	Fuktig	Blöt		
Torr	23	8	4	0	0	35	66 %
Frisk	10	32	0	0	0	42	76 %
Frisk-Fuktig	9	10	7	0	0	26	27 %
Fuktig	12	2	3	0	0	17	0 %
Blöt	7	1	1	0	0	9	0 %
Total	61	53	15	0	0	129	
Användarnoggrannhet	38 %	60 %	47 %	-	-		
Träffsäkerhet	48 %						
Genomsnittlig anv. noggr.	29 %						
Genomsnittlig prod. noggr.	34 %						

3.1.3 Jordartens påverkan

Då k-NN-klassningen görs på provpunkter som fältbestämts till sediment och torv och exkluderar provpunkter som fältbestämts till morän ger det en träffsäkerhet på 38 % (tabell 4). Inga provpunkter klassas korrekt i klasserna *fuktig* eller *blöt*.

Tabell 4. Förväxlingsmatris över fältklassad markfuktighet mot datormodellerad och klassad markfuktighet exklusive insamlingspunkter som i fält bestämts till jordarten morän

Table 4. Confusion matrix of field-classified soil moisture compared to computer-modelled and classified soil moisture. Field plots that in the field was categorized as moraine not included

Fältklassning	k-NN-klassning, markfuktighet					Total	Producentnoggrannhet
	Torr	Frisk	Fuktig	Fuktig	Blöt		
Torr	23	3	3	1	0	30	77 %
Frisk	12	7	0	0	0	19	37 %
Frisk-Fuktig	9	5	3	0	0	17	18 %
Fuktig	10	1	2	0	0	13	0 %
Blöt	6	0	1	0	0	7	0 %
Total	60	16	9	1	0	86	
Användarnoggrannhet	38 %	44 %	33 %	0 %	-		
Träffsäkerhet	38 %						
Genomsnittlig anv. noggr.	23 %						
Genomsnittlig prod. noggr.	26 %						

Då k-NN-klassningen görs på provpunkter som fältbestämts till jordarten morän och sediment och exkluderar provpunkter som fältbestämts till torv är träffsäkerheten 54 % (tabell 5). Inga provpunkter klassas som *frisk-fuktiga*, *fuktiga* eller *blöta*.

Tabell 5. Förväxlingsmatris över fältklassad markfuktighet mot datormodellerad och klassad markfuktighet exklusive insamlingspunkter som i fält bestämts till jordarten torv

Table 5. Confusion matrix of field-classified soil moisture compared to computer-modelled and classified soil moisture. Field plots that in the field was categorized as peat not included

Fältklassning	k-NN-klassning, markfuktighet					Total	Producentnoggrannhet
	Torr	Frisk	Fuktig	Fuktig	Blöt		
Torr	24	11	0	0	0	35	69 %
Frisk	8	32	0	0	0	40	80 %
Frisk-Fuktig	7	10	0	0	0	17	0 %
Fuktig	6	2	0	0	0	8	0 %
Blöt	2	1	0	0	0	3	0 %
Total	47	56	0	0	0	103	
Användarnoggrannhet	51 %	57 %	-	-	-		
Träffsäkerhet	54 %						
Genomsnittlig anv. noggr.	22 %						
Genomsnittlig prod. noggr.	30 %						

När provpunkter som fältbestämts till jordarten morän och torv klassas med k-NN och jordarten sediment exkluderas ger det en träffsäkerhet på 48 % (tabell 6). Inga provpunkter klassas som *torra*. Klassningen har den högsta genomsnittliga användar- och producentnoggrannheten om en jämförelse görs mellan tabell 4, tabell 5 och tabell 6. När sediment exkluderas lyckas även k-NN-modellen korrekt klassa några provpunkter som

fuktiga och *blöta*. Klassningen har en genomsnittlig användarnoggrannhet på 35 %. För den *fuktiga* klassen är användarnoggrannheten 14 %. Det innebär att det är osannolikt att en provpunkt som datorklassats som *fuktig* också är fuktig i fält. k-NN-modellen lyckas korrekt tolka nästan samtliga provpunkter som i fält bedömts som *friska*.

Producentnoggrannheten för den *friska* klassen är 90 %. Modellen tolkar även provpunkter som fältklassats i andra markfuktighetsklasser som *friska* och användarnoggrannheten för den datorklassade klassen *frisk* är därför 54 %. Således gör det att även om modellen till stor del korrekt tolkar friska provpunkter så stämmer en provpunkt som datorklassats som *frisk* med dess fältklassade markfuktighet endast i drygt hälften av fallen.

Tabell 6. Förväxlingsmatris över fältklassad markfuktighet mot datormodellerad och klassad markfuktighet exklusive insamlingspunkter som i fält bestämts till jordarten sediment

Table 6. Confusion matrix of field-classified soil moisture compared to computer-modelled and classified soil moisture. Field plots that in the field was categorized as sediment not included

Fältklassning	k-NN-klassning, markfuktighet					Total	Producentnoggrannhet
	Torr	Frisk	Frisk- Fuktig	Fuktig	Blöt		
Torr	0	3	1	1	0	5	0 %
Frisk	0	27	3	0	0	30	90 %
Frisk-Fuktig	0	10	5	3	0	18	28 %
Fuktig	0	7	2	1	1	11	9 %
Blöt	0	3	2	2	2	9	22 %
Total	0	50	13	7	3	73	
Användarnoggrannhet	-	54 %	38 %	14 %	67 %		
Träffsäkerhet	48 %						
Genomsnittlig anv. noggr.	35 %						
Genomsnittlig prod. noggr.	30 %						

3.1.4 Dikningspåverkan

När dikningspåverkade provpunkter exkluderas i k-NN-klassningen ger den en träffsäkerhet på 49 % (tabell 7). Det kan jämföras med en träffsäkerhet på 48 % då samtliga provpunkter används (tabell 3). Inga provpunkter klassas korrekt som *fuktiga* eller *blöta*.

Tabell 7. Förväxlingsmatris över fältklassad markfuktighet mot datormodellerad och klassad markfuktighet exklusive insamlingspunkter som bedömts som dikningspåverkade

Table 7. Confusion matrix of field-classified soil moisture compared to computer-modelled and classified soil moisture. Field plots that in the field was categorized as effected by ditches not included

Fältklassning	k-NN-klassning, markfuktighet					Total	Producentnoggrannhet
	Torr	Frisk	Frisk- Fuktig	Fuktig	Blöt		
Torr	24	9	1	1	0	35	69 %
Frisk	7	29	0	0	0	36	81 %
Frisk-Fuktig	6	8	1	0	0	15	7 %
Fuktig	12	2	2	0	0	16	0 %
Blöt	7	1	0	0	0	8	0 %
Total	56	49	4	1	0	110	
Användarnoggrannhet	43 %	59 %	25 %	0 %	-		
Träffsäkerhet	49 %						
Genomsnittlig anv. noggr.	25 %						
Genomsnittlig prod. noggr.	31 %						

3.1.5 Sammanslagning av markfuktighetsklasser

Då provpunkter som i fält klassats som *frisk-fuktiga* och *fuktiga* sammanslagits till en *fuktig* klass ger k-NN-klassningen en träffsäkerhet på 48 % (tabell 8). Inga provpunkter har klassats som *blöta*, utan de provpunkter som fältklassats som *blöta* har istället övervägande datorklassats som *torra*.

Tabell 8. Förväxlingsmatris över fältklassad markfuktighet mot datormodellerad och klassad markfuktighet, där klasserna frisk-fuktig och fuktig sammanslagits

Table 8. Confusion matrix of field-classified soil moisture compared to computer-modelled and classified soil moisture, where the classes frisk-fuktig and fuktig has been put into a common class

Fältklassning	k-NN-klassning, markfuktighet				Total	Producentnoggrannhet
	Torr	Frisk	Fuktig	Blöt		
Torr	18	8	9	0	35	51 %
Frisk	5	32	5	0	42	76 %
Fuktig	19	12	12	0	43	28 %
Blöt	7	1	1	0	9	0 %
Total	49	53	27	0	129	
Användarnoggrannhet	37 %	60 %	44 %	-		
Träffsäkerhet	48 %					
Genomsnittlig anv. noggr.	35 %					
Genomsnittlig prod. noggr.	39 %					

3.1.5.1. Sammanslagning av markfuktighetsklasser per jordart

Varken provpunkter som fältbestämts till torv eller sediment visade en bättre träffsäkerhet då klasserna *frisk-fuktig* och *fuktig* sammanslagits (resultat visas ej). Då de provpunkter som fältbestämts till klasserna *frisk-fuktig* och *fuktig* sammanslagits till en *fuktig* klass (*fuktig* i tabell 9) för endast provpunkter som fältbestämts till jordarten morän ger det en k-NN-klassning med en träffsäkerhet på 65 % (tabell 9). Inga provpunkter klassas som *torra*. Den genomsnittliga användarnoggrannheten är 44 %. För den fuktiga klassen är användarnoggrannheten 67 % och producentnoggrannheten 33 %. Det innebär att en provpunkt som datorklassats som *fuktig* också i fält klassas som *fuktig* i två tredjedelar av fallen. Samtidigt lyckas modellen endast korrekt tolka provpunkter som fältklassats som *fuktiga* i en tredjedel av fallen. Resterande provpunkter som fältklassats som *fuktiga* tolkas övervägande som *friska*.

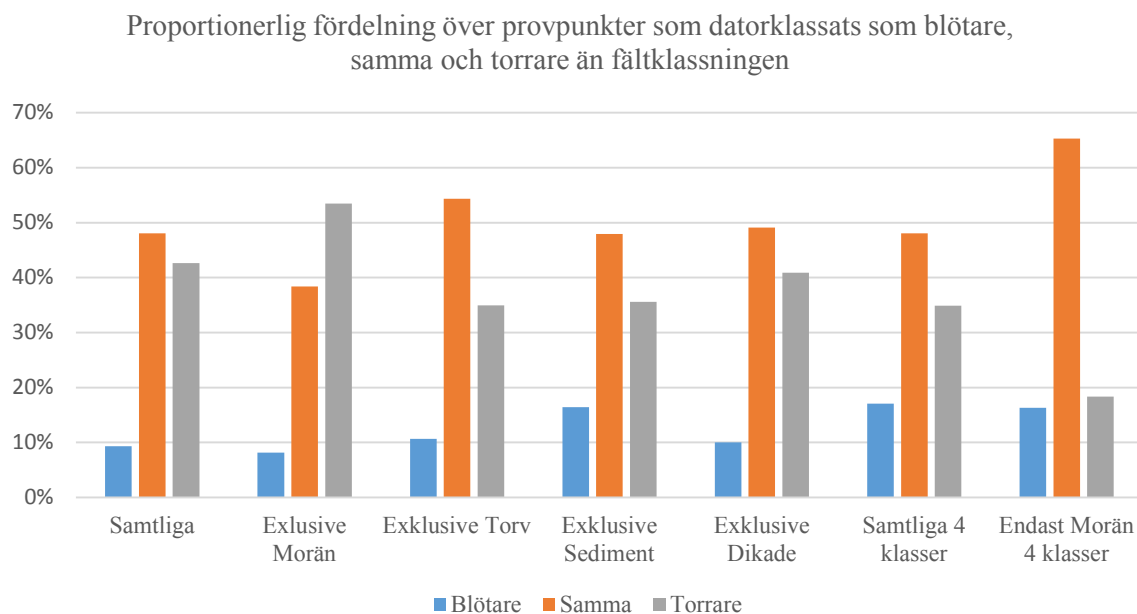
Tabell 9. Förväxlingsmatris över fältklassad markfuktighet mot datormodellerad och klassad markfuktighet med endast insamlingspunkter som i fält bestämts till jordarten morän, där klasserna *frisk-fuktig* och *fuktig* sammanslagits

Table 9. Confusion matrix of field-classified soil moisture compared to computer-modelled and classified soil moisture. Only including field-plots that in the field was classified as moraine and where the classes *frisk-fuktig* and *fuktig* has been put into a common class

Fältklassning	k-NN-klassning, markfuktighet				Total	Producentnoggrannhet
	Torr	Frisk	Fuktig	Blöt		
Torr	0	4	0	1	5	0 %
Frisk	0	26	1	1	28	93 %
Fuktig	0	7	4	1	12	33 %
Blöt	0	1	1	2	4	50 %
Total	0	38	6	5	49	
Användarnoggrannhet	-	68 %	67 %	40 %		
Träffsäkerhet	65 %					
Genomsnittlig anv. noggr.	44 %					
Genomsnittlig prod. noggr.	44 %					

3.1.6. Ytterligare utvärdering av datorklassning av markfuktighet

För datorklassad markfuktighet är det fler provpunkter som klassats som ”torrare än fältklassningen”, jämfört med de som klassats som ”blötare än fältklassningen” (figur 3). Jämnast är datorklassningen då endast morän används och markfuktighetsklasserna *frisk-fuktig* och *fuktig* sammanslagits till en klass. 16 % är då datorklassade som blötare än fältklassningen och 18 % är datorklassade som torrare än fältklassningen. Störst skillnad kan ses när samtliga provpunkter exklusive provpunkter som fältbestämts som morän använts i datorklassningen. Då är 8 % datorklassade som blötare än fältklassningen och 53 % är datorklassade som torrare än fältklassningen.



Figur 3. Proportionerlig fördelning över provpunkter som datorklassats som blötare, samma och torrare än fältklassningen.

Figure 3. Proportional distribution of plots that has been computer classified as more moist, the same as and dryer than the field classification.

3.2 Bärighet

3.2.1 Provpunkternas fördelning över markfuktighetsvärden och bärighetsklass

Sett över samtliga provpunkter, både provpunkter som slumpvis delats in i tränings-data och test-data har provpunkterna en stor spridning över värden i markfuktighetskartan (RWI) (tabell 10). Många provpunkter som fältklassats i bärighetsklass 2 har höga värden i markfuktighetskartan. Totalen för varje rad anger antalet provpunkter i varje RWI-värde. Röd textfyllnad markerar i vilken fältbestämd bärighetsklass som flest provpunkter för varje RWI-värde återfinns. För de flesta RWI-värden är flest antal provpunkter fältklassade i bärighetsklass 2. Ett högre RWI-värde förväntas representera en lägre (sämre) bärighetsklassning. Provpunkternas fördelning skiljer sig dock från det förväntade i och med att många provpunkter som fältklassats med hög bärighet ändå har höga värden i markfuktighetskartan. Det tyder på att markfuktighetskartorna, sett över samtliga provpunkter, inte ger en indikation av bärigheten på provpunkterna med hög tillförlitlighet – vilket också syns vid datorklassning av RWI-värden i bärighetsklasser för att överensstämma med fältbestämda bärighetsklasser.

Tabell 10. Samtliga insamlingspunkters klassning av bärlighet i fält och deras värde i markfuktighetskartan (RWI). Röd textfyllnad markerar i vilken bärlighetsklass som flest provpunkter för varje RWI-värde återfinns
Table 10. All field-plots classification of bearing capacity in the field and their value in the soil moisture-map (RWI). Red marking shows in what bearing capacity-class most field-plots belong to for each RWI-value

RWI	Fältklassning, bärlighet					Total
	1	2	3	4	5	
0	44	69	9	4	6	132
7,5	15	16	9	1	11	52
8	5	18	4	0	12	39
8,5	1	11	6	4	13	35
9	2	11	1	1	13	28
9,5	2	18	3	2	6	31
10	2	16	3	2	6	29
10,5	5	16	1	1	7	30
11	4	19	1	0	2	26
11,5	2	8	1	1	1	13
12	0	6	0	1	4	11
12,5	0	4	1	0	2	7
13	3	21	0	4	19	47
Total	85	233	39	21	102	480

Bärligheten graderas efter en femgradig skala: 1 (mkt hög) 2 3 4 5 (mkt låg)

3.2.2 k-NN-klassning

k-NN-klassning med samtliga provpunkter ger en träffsäkerhet på 37 % (tabell 11). Ett fåtal punkter klassas i bärlighetsklass 5 och resten i bärlighetsklass 2. Klassningen speglar väl förhållandet i tabell 10 (ovan).

Tabell 11. Förväxlingsmatris över fältklassad bärlighet mot datormodellerad och klassad bärlighet
Table 11. Confusion matrix of field-classified bearing capacity compared to computer-modelled and classified bearing capacity

Fältklassning	k-NN-klassning, bärlighet					Total	Producentnoggrannhet
	1	2	3	4	5		
1	0	24	0	0	1	25	0 %
2	0	47	0	0	2	49	96 %
3	0	14	0	0	0	14	0 %
4	0	8	0	0	0	8	0 %
5	0	32	0	0	1	33	3 %
Total	0	125	0	0	4	129	
Användarnoggrannhet	-	38 %	-	-	25 %		
Träffsäkerhet	37 %						
Genomsnittlig anv. noggr.	13 %						
Genomsnittlig prod. noggr.	20 %						

Bärligheten graderas efter en femgradig skala: 1 (mkt hög) 2 3 4 5 (mkt låg)

3.2.3 Jordartens påverkan

När endast provpunkter som i fält bedömts till sediment och torv används i datorklassningen uppnås en träffsäkerhet på 45 % (tabell 12). Provpunkterna klassas endast till bärighetsklasserna 2 och 5, med övervägande antal som klassas i bärighetsklass 2.

Tabell 12. Förväxlingsmatris över fältklassad bärighet mot datormodellerad och klassad bärighet exklusive insamlingspunkter som i fält bestämts till jordarten morän

Table 12. Confusion matrix of field-classified bearing capacity compared to computer-modelled and classified bearing capacity. Field plots that in the field was categorized as moraine not included

Fältklassning	k-NN-klassning, bärighet					Total	Producentnoggrannhet
	1	2	3	4	5		
1	0	6	0	0	2	8	0 %
2	0	32	0	0	5	37	86 %
3	0	7	0	0	2	9	0 %
4	0	5	0	0	0	5	0 %
5	0	20	0	0	7	27	26 %
Total	0	70	0	0	16	86	
Användarnoggrannhet	-	46 %	-	-	44 %		
Träffsäkerhet	45 %						
Genomsnittlig anv. nogg.	18 %						
Genomsnittlig prod noggr.	22 %						

Bärigheten graderas efter en femgradig skala: **1** (mkt hög) **2 3 4 5** (mkt låg)

När de provpunkter som i fält bestämts till jordarten torv exkluderas ger k-NN-klassningen en träffsäkerhet på 45 % (tabell 13). Samtliga provpunkter datorklassas i bärighetsklass 2.

Tabell 13. Förväxlingsmatris över fältklassad bärighet mot datormodellerad och klassad bärighet exklusive insamlingspunkter som i fält bestämts till jordarten torv

Table 13. Confusion matrix of field-classified bearing capacity compared to computer-modelled and classified bearing capacity. Field plots that in the field was categorized as peat not included

Fältklassning	k-NN-klassning, bärighet					Total	Producentnoggrannhet
	1	2	3	4	5		
1	0	25	0	0	0	25	0 %
2	0	46	0	0	0	46	100 %
3	0	14	0	0	0	14	0 %
4	0	8	0	0	0	8	0 %
5	0	10	0	0	0	10	0 %
Total	0	103	0	0	0	103	
Användarnoggrannhet	-	45%	-	-	-		
Träffsäkerhet	45 %						
Genomsnittlig anv. noggr.	9 %						
Genomsnittlig prod noggr.	20 %						

Bärigheten graderas efter en femgradig skala: **1** (mkt hög) **2 3 4 5** (mkt låg)

Genom att exkludera de provpunkter som i fält bestämts till jordarten sediment klassas provpunkterna till bärighetsklasserna 1, 2 och 5. En träffsäkerhet på 48 % uppnås (tabell 14). Klassningen ger den högsta genomsnittliga användar- och producentnoggrannheten om man jämför tabell 12, tabell 13 och tabell 14. Klassningen lyckas dock endast korrekt klassa provpunkter i bärighetsklass 1 och 5 och den genomsnittliga användarnoggrannheten är så låg som 20 %. Den högsta användarnoggrannheten är för bärighetsklass 5 och ligger på 59 %. Det innebär att en provpunkt som datorklassats i bärighetsklass 5 i lite mer än hälften av fallen även klassas som bärighetsklass 5 i fält.

Tabell 14. Förväxlingsmatris över fältklassad bärighet mot datormodellerad och klassad bärighet exklusive insamlingspunkter som i fält bestämts till jordarten sediment

Table 14. Confusion matrix of field-classified bearing capacity compared to computer-modelled and classified bearing capacity. Field plots that in the field was categorized as sediment not included

Fältklassning	k-NN-klassning, bärighet					Total	Producentnoggrannhet
	1	2	3	4	5		
1	12	1	0	0	4	17	71 %
2	9	0	0	0	3	12	0 %
3	3	1	0	0	5	9	0 %
4	1	0	0	0	4	5	0 %
5	3	4	0	0	23	30	77 %
Total	28	6	0	0	39	73	
Användarnoggrannhet	43 %	0 %	-	-	59 %		
Träffsäkerhet	48 %						
Genomsnittlig anv. noggr.	20 %						
Genomsnittlig prod noggr.	29 %						

Bärigheten graderas efter en femgradig skala: **1** (mkt hög) **2 3 4 5** (mkt låg)

3.2.3.1 Morän

Används enbart provpunkter som i fält bestämts till jordarten morän uppnås en träffsäkerhet på 41 % (tabell 15). Inga provpunkter klassas i bärighetsklass 4.

Tabell 15. Förväxlingsmatris över fältklassad markfuktighet mot datormodellerad och klassad markfuktighet med endast insamlingspunkter som i fält bestämts till jordarten morän

Table 15. Confusion matrix of field-classified soil moisture compared to computer-modelled and classified soil moisture. Only including field-plots that in the field was classified as moraine

Fältklassning	k-NN-klassning, bärighet					Total	Producentnoggrannhet
	1	2	3	4	5		
1	13	3	1	0	0	17	76 %
2	9	3	0	0	0	12	25 %
3	2	5	0	0	1	8	0 %
4	2	0	1	0	1	4	0 %
5	2	2	0	0	4	8	50 %
Total	28	13	2	0	6	49	
Användarnoggrannhet	46 %	23 %	0 %	-	67 %		
Träffsäkerhet	41 %						
Genomsnittlig anv. noggr.	27 %						
Genomsnittlig prod noggr.	30 %						

Bärigheten graderas efter en femgradig skala: **1** (mkt hög) **2 3 4 5** (mkt låg)

3.2.4 Dikningspåverkan

När provpunkter som bedömts som dikningspåverkade exkluderas uppnås en träffsäkerhet på 43 % (tabell 15). Provpunkterna klassas i bärighetsklass 1, 2 och 5.

Tabell 16. Förväxlingsmatris över fältklassad bärighet mot datormodellerad och klassad bärighet exklusive insamlingspunkter som bedömts som dikningspåverkade

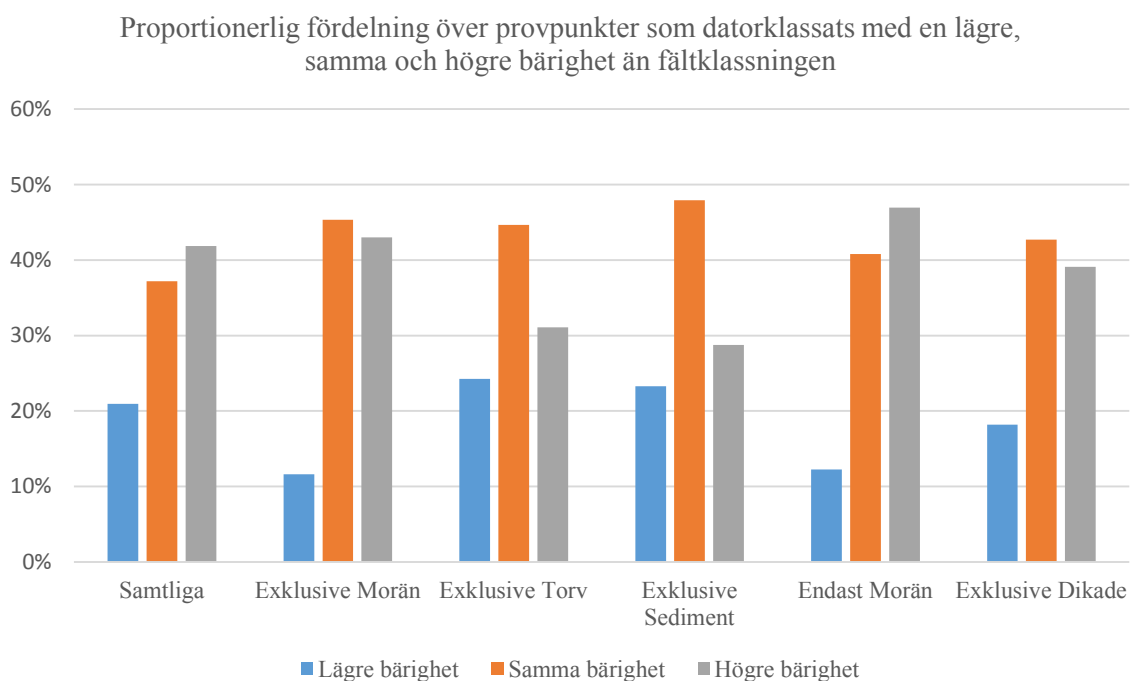
Table 16. Confusion matrix of field-classified bearing capacity compared to computer-modelled and classified bearing capacity. Field plots that in the field was categorized as effected by ditches not included

Fältklassning	k-NN-klassning, bärighet					Total	Producentnoggrannhet
	1	2	3	4	5		
1	4	17	0	0	1	22	18 %
2	3	42	0	0	1	46	91 %
3	1	9	0	0	1	11	0 %
4	0	7	0	0	0	7	0 %
5	1	22	0	0	1	24	4 %
Total	9	97	0	0	4	110	
Användarnoggrannhet	44 %	43 %	-	-	25 %		
Träffsäkerhet	43 %						
Genomsnittlig anv. noggr.	23 %						
Genomsnittlig prod noggr.	23 %						

Bärigheten graderas efter en femgradig skala: **1** (mkt hög) **2 3 4 5** (mkt låg)

3.2.5 Ytterligare utvärdering av datorklassning av bärighet

k-NN-klassningarna visar i samtliga fall en högre (bättre) bärighet än vad som bedömdes i fält (figur 4). När provpunkter som fältbestämts till jordarten morän exkluderas är 45 % av provpunkterna klassade samma i fält och vid datorklassningen, 12 % är klassade med en lägre bärighet än i fält och 43 % är datorklassade till att ha en högre bärighet än fältklassningen. När provpunkter som fältbestämts till jordarten sediment exkluderas är samma förhållande att 48 % är datorklassade med samma bärighet, 23 % är datorklassade med en lägre bärighet och 29 % är datorklassade med en högre bärighet.



Figur 4. Proportionerlig fördelning över provpunkter som datorklassats med lägre bärighet, samma bärighet och högre bärighet än fältklassningen.

Figure 4. Proportional distribution of field-plots that has been computer classified with a lower bearing capacity, the same bearing capacity and a higher bearing capacity than the field classification.

4 DISKUSSION

4.1 Resultat

4.1.1 Resultat markfuktighet

När markfuktigheten datorklassas med samtliga provpunkter uppnås en träffsäkerhet på 48 %. Det innebär att datorklassningen klassar mindre än hälften av provpunkterna korrekt. De provpunkter som i fält visar sig vara fuktiga eller blöta undgår helt att identifieras av datorklassningen. Det beror på hur provpunkternas fördelning över markfuktighetsvärden (RWI) ser ut och som presenteras i tabell 2. Det förväntas att ett högre RWI-värde representerar ett fuktigare förhållande vid besök i fält. I motsats till det förväntade visar resultaten att en majoritet av provpunkter med höga RWI-värden fältklassats i markfuktighetsklassen *torr*. Det i sin tur leder till att en datorklassning med k-NN visar på ett kraftigt torrare förhållande i skogsmarken än vad som bedömts i fält. Det betyder nödvändigtvis inte att markfuktighetskartorna generellt visar på ett torrare förhållande i skogsmarken än vad som bedöms i fält. Troligen visar de på det motsatta, alltså ett generellt blötare förhållande i skogsmarken. Om markfuktighetskartorna visar på ett för högt och vidspritt vattenflöde i skogsmarken än vad som bedöms i fält så innebär det att många provpunkter med höga RWI-värden bedöms som torra vid besök i fält. Det gör det problematiskt för k-NN-algoritmen att korrekt klassa provpunkter som i fält bedömts som fuktiga även om dessa har höga RWI-värden i markfuktighetskartan.

Jordarten visar sig ha en stor påverkan på hur väl markfuktigheten kan klassas. Sediment har en tydlig negativ påverkan på datorklassningstillförlitligheten och när sedimentprovpunkter exkluderas ökar både träffsäkerheten och användarnoggrannheten. Det beror troligtvis på att det är svårt för markfuktighetsmodellen att hantera variationer i olika jordarters infiltrations-, vattenbindande- och vattenledande förmåga. En tänkbar förklaring är att sedimentmarker med en mellanliggande (där texturen i fält bedömts som mellansand) texturklass har en högre dräneringskapacitet i verkligheten än det modellerade och att mindre vatten binds i marken. Torv har inte lika stor påverkan som sediment, troligen för att torvmarker uppstår där grundvattenytan är nära eller vid markytan och att det därför alltid är tämligen blött i torven. Bäst resultat fås när endast jordarten morän används och då klasserna *frisk-fuktig* och *fuktig* sammanslagits till en och samma klass (tabell 9). Då nås en träffsäkerhet på 65 % och en användarnoggrannhet på i genomsnitt 44 %. Tyvärr var det slutliga antalet provpunkter som besöktes på moränmarker i det minsta laget för att kunna göra en tillförlitlig klassning, och resultatet bör verifieras med en ytterligare inventering med fler provpunkter på just moränmarker.

Resultaten visar också att om endast provpunkter som i fält bedömts som jordarten morän används och när klasser *frisk-fuktig* och *fuktig* sammanslagits till en klass är det nästan lika många provpunkter som klassas som blötare och torrare än det fältbedömda. Vid närmare granskning av förväxlingsmatrisen kan man dock dra slutsatsen att för den nya klassen *fuktig* (sammanslagning av klasserna *frisk-fuktig* och *fuktig*) är 7 av 12 provpunkter klassade som torrare än vad som bedömts i fält och endast 1 är bedömd som blötare,

samtidigt som 4 provpunkter är korrekt klassade. Det gör att datorklassningen i 58 % av fallen visar att en provpunkt i klassen fuktig är torrare än dess fältklassning. I samtliga fall som presenteras i resultaten så visar förväxlingsmatriserna samma resultat – att i klasserna *frisk-fuktig* och *fuktig* anger datorklassningarna ett torrare förhållande än vad som bedömts i fält.

Förekomst av diken visade sig inte påverka k-NN-modellens förmåga att korrekt klassa markfuktighet i någon större utsträckning. När dikade provpunkter togs bort ökade träffsäkerheten något, men användarnoggrannheten sjönk. Det kan möjligen förklaras med att många av provpunkterna som i fält bedömdes som påverkade av dikning var belägna på sediment och torv. Det fanns för få provpunkter som i fält bedömts som både morän och dikningspåverkade för att kunna utvärdera effekten av diken på moränmarker separat.

4.1.2 Resultat bärighet

När samtliga provpunkter används i k-NN-klassningen av bärighet uppnås en träffsäkerhet på 37 % och en genomsnittlig användarnoggrannhet på så lågt som 13 %. Det innebär att datorklassning av bärighet har lägre tillförlitlighet än datorklassning av markfuktighet. Det beror förmodligen på att modellen vid klassning av bärighet måste hantera ytterligare en faktor – blockrikheten. Enligt *terrängtypschema för svenskt skogsbruk* så ska bärigheten ökas med en klass på marker med hög blockrikhet (Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, 1969). Blockrikheten klassades vid fältinventeringen i fem klasser och där provpunkter som bedömdes som *blockrika* och *extremt blockrika* klassades med en klass högre bärighet. Det gör att flest provpunkter för nästan samtliga RWI-värden från markfuktighetskartan har bestämts till bärighetsklass 2 vid fältinventeringen.

Jordartens påverkan är inte lika tydlig som vid klassningen av markfuktighet. Det går att utläsa att om provpunkter som fältbestämts till sediment exkluderas uppnås en något högre träffsäkerhet och en bättre datorklassning i och med att provpunkter tillförs fler bärighetsklasser. Torv påverkar bärighetsklassningen i större utsträckning än vid datorklassningen av markfuktighet vilket kan förklaras med hur bärigheten på torvmark klassas i fält. Torvmarker tillförs alltid till den sämsta bärighetsklassen (5) enligt GYL-klassificeringssystemet, även om markfuktigheten och bärigheten kan variera beroende på torvens uppbyggnad. Att modellen har svårt att klassa bärigheten på morän kan möjligen förklaras med att de flesta provpunkter som höjts med en bärighetsklass på grund av blockrikhet är belägna på moränmarker.

Datorklassningen av bärighet visar på ett i genomsnitt bättre bärighet i skogsmarken än vad som bedömdes i fält. I likhet med datorklassningen av markfuktighet betyder det troligen att markfuktighetskartorna generellt visar på för låg bärighet i skogsmarken.

Jämför man datorklassningen med samtliga provpunkter och datorklassningen där provpunkter som påverkats av dikning exkluderas så var träffsäkerheten 37 % respektive 43 %. Modellen tillför även provpunkter i fler bärighetsklasser i det fall där dikningspåverkade provpunkter exkluderas. Den genomsnittliga användarnoggrannheten ligger då på 23 %. Tillförlitligheten i datorklassningen är så pass låg att några slutsatser om

varför dikning har en större påverkan vid datorklassning av bärighet än vid datorklassning av markfuktighet är svår att göra.

4.1.3 Jämförelse med tidigare studier och litteratur

I en studie av Murphy et al. (2009) presenteras resultat från en utvärdering av modellerad markfuktighet. Studien gjordes i Alberta i Kanada. I studien jämförs DTW-metoden och SWI-metoden. SWI-metoden bygger liksom RWI-metoden, som Sveaskogs markfuktighetskarter skapats med, på ackumulerande vattenflöden. I studien registrerades fuktiga områdens yttergränser i fält med GPS. De registrerade fuktiga områdena jämfördes sedan med modellerade markfuktighetskarter. Resultatet av studien som Murphy et al. (2009) gjorde visar att SWI-metoden inte modellerar markfuktigheten med lika hög tillförlitlighet som DTW-metoden. DTW-metoden hade tydligt bättre tillförlitlighet vid högre upplösning. SWI-metoden beskrivs som alltför beroende av sammanlöpanande ackumulerande vattenflöden och ha särskilt stora problem vid lokala topografiska- och hydrologiska skillnader. SWI-modellen kan enligt Murphy et al. (2009) också ge upphov till alltför vidspjridna områden med modellerad hög markfuktighet i lågt liggande terräng. Det kan i viss mån även förklara resultatet i denna studie, då en stor spridning av höga markfuktighetsvärden i skogsmarken leder till att många provpunkter som i fält bedöms som torra ändå har höga RWI-värden. Studien som presenteras i denna rapport är också utförd med en hög upplösning (en exakt punkt i fält) vilket kan ge stora effekter på resultatet.

I en studie som gjorts av Bergkvist et al. (2014b) utvärderas en markfuktighetskarta som modellerats enligt DTW-metoden. Resultatet i den studien visar att den modellerade markfuktigheten överensstämmer med den fältklassade i 68 % av provpunkterna. När även provpunkter som påverkades av diken togs bort överensstämde den modellerade markfuktigheten med den fältklassade i 86 % av provpunkterna. Både markfuktighetskarternas utformning och metoden för att utvärdera markfuktighetskarterna skiljer sig dock från det som presenteras i detta arbete. Bland annat så skiljer sig metoden för att modellera markfuktigheten. Studien av Bergkvist et al. (2014b) gjordes på ett avgränsat geografiskt område och de använde en DTW-modell som modellerar djupet ned till grundvattnet. Sveaskogs markfuktighetsmodell är framtagna med en RWI-metod som ger ett index över ackumulerat vattenflöde. Bergkvist et al. (2014b) identifierade diken och jordar med finare partiklar som två faktorer som potentiellt kunde påverka kartornas tillförlitlighet. Även om markfuktighetskarterna i den studien skapades med DTW-metoden så borde samma faktorer även kunna påverka resultatet i utvärderingen av Sveaskogs markfuktighetskarter. Så var dock inte fallet, utan resultaten av utvärderingen av Sveaskogs markfuktighetskarter visar på att jordarter med grövre partiklar och hög dräneringskapacitet påverkar tillförlitligheten negativt, samt att förekomst av diken endast marginellt påverkar tillförlitligheten. Ytterligare jämförelse är svår att göra eftersom Bergkvist et al. (2014b) inte presenterar hur studien fördelats över olika markfuktighetsklasser, vilket gör det svårt att dra några slutsatser om tillförlitligheten i att hitta fuktiga områden.

4.2 Kritisk granskning av utvärderingsmetod

4.2.1 Styrkor och svagheter med studien

Datorklassningen med k-NN gör att man kan jämföra provpunkternas fältbestämda klasstillhörighet och den datormodellerade klasstillhörigheten. Att placera RWI-värdena i markfuktighetsklasser gör även att modellen är känslig för vilka provpunkter som bygger upp modellen och används som tränings-data. Felklassningar vid fältinventeringen kan påverka resultatet. Många faktorer som tillsammans bidrar till klassningen av markfuktighet och bärighet ibland kan vara svåra att bedöma i fält och består till viss del av subjektiva bedömningar. Felklassningar vid fältinventeringen försökte undvikas genom att använda tydliga definitioner och ett systematiskt arbetssätt under fältinventeringen. Metodiken för att bestämma markfuktigheten i fält ska vara oberoende av säsongsvisa skillnader i markfuktighet. Det kan dock inte uteslutas att den torra väderleken under augusti månad 2016 då fältinventeringen gjordes påverkade bedömningen.

Upplösningen i markfuktighetskartan kan även påverka resultatet. Utvärderingen säger ingenting om hur geografiskt "nära" en provpunkt är en korrekt klassning utan bara om den är korrekt klassad eller inte. För att förtydliga: Klassningen sker i princip på pixelnivå och tar inte hänsyn till om provpunkten är till exempel bara någon meter ifrån ett, låt säga, fuktigt område eller om provpunkten är flera hundra meter ifrån. Det kan göra att en provpunkt blir felaktigt datorklassad, men om provpunkten varit belägen några meter bredvid hade den blivit korrekt datorklassad. Ser man på markfuktighetskartorna med ett mer överblickande perspektiv och mindre "inzoomat" ger förmodligen markfuktighetskartorna en bättre indikation på markfuktighetsförhållandena än det som presenteras i denna studie.

Förväxlingsmatriser är ett bra verktyg för att utvärdera en datorklassning. Ur matriserna kan information för varje provpunkt utläsas och dess fältklassning och datorklassning jämföras. Information om datorklassningens tillförlitlighet kan även utläsas. En hög träffsäkerhet ger inte nödvändigtvis en bra klassning av samtliga markfuktighetsklasser. För att ytterligare utvärdera k-NN-klassningen är därför användarnoggrannheten och producentnoggrannheten bra verktyg. Producentnoggrannheten visar modellens förmåga att korrekt tolka en provpunkts fältbestämda klasstillhörighet. Användarnoggrannheten är ett mått på hur väl en datorklassad klass överensstämmer med fältklassningen. I ett praktisk användande av en klassad karta är därför både producentnoggrannheten och användarnoggrannheten avgörande.

4.2.2 Behov av fortsatt forskning

Resultatet av denna studie visar på att Sveaskogs markfuktighetskartor kan ge en indikation på markfuktigheten på områden med jordarten morän. Antalet ingående

provpunkter som användes för att datorklassa markfuktigheten på moränmarker var dock i minsta laget för att ge en tillförlitlig datorklassning. Studien bör kompletteras med ytterligare en fältinventering på moränmarker. Dessutom bör studien kompletteras med en fältinventering där fuktiga områden registreras med GPS i fält. De registrerade områdena kan sedan jämföras med den modellerade markfuktigheten för att få en uppfattning om tillförlitlighet i en annan upplösning.

4.3 Förslag på tillämpning av markfuktighetskartorna

I en studie av Bergkvist & Friberg (2016) diskuterades användandet av och tillförlitligheten i markfuktighetskartor med entreprenörer och tjänstemän inom skogsbruket. De flesta ansåg att markfuktighetskartor, oftast, gav bra indikationer om fuktighetsförhållandet i skogsmarken – men att man som regel ändå måste bekräfta markfuktigheten i fält. Ur studien kan man dra slutsatsen att i en utveckling där skogsbruket förlitar sig mer och mer på fjärrtolkad data som hanteras inne på kontoret är det viktigt att fundera på hur markfuktighetskartorna ska användas. Markfuktigheten är svår att modellera på grund av de många faktorer som påverkar vattnets rörelse i marken, exempelvis nederbörd, jordart, textur och dikning. Modellerna är även beroende av upplösningen på de digitala barmarkselevationsmodeller som används och, i de fall där DTW-metoden används, information om vart ytvatten finns och uppstår i skogsmarken. Att alltid korrekt kunna modellera markfuktigheten över hela landskapet är därför svårt, men om en tillräckligt hög tillförlitlighet uppnås kan det ge en bra indikation av förhållandet och leda till bättre planering och beslut redan innan ett besök i fält.

Markfuktighetskartorna som Sveaskog använder och som studerats i detta arbete har överlag en låg tillförlitlighet och bör därför användas med försiktighet. Resultatet visar dock på att kartorna kan ge en indikation på markfuktigheten på områden med jordarten morän. Studien är dessutom gjord med en hög upplösning (en exakt punkt i fält). För att inkorporera markfuktighetskartorna i det praktiska planeringsarbetet behövs nödvändigtvis inte en så hög tillförlitlighet i den upplösningsnivån. Ser man markfuktighetskartorna i ett mer ”utzoomat” perspektiv kan resultatet se annorlunda ut. På moränmarker kan därför kartorna, speciellt i kombination med annan information och data, identifiera områden som löper risk att vara fuktiga. Annan information kan bestå av beståndsdata och kartor som visualiserar krontäckning, trädhöjd och trädslagsblandning. Resultatet i denna studie stämmer alltså bra överens med de resultat som presenteras i studien av Bergkvist och Friberg (2016). Kartorna bör användas som ett stöd i planeringsarbetet, där områden som löper risk att vara fuktiga kan identifieras, men markfuktigheten måste verifieras vid besök i fält.

Denna studies resultat visar på att tillförlitligheten i markfuktighetskartorna är för låg på områden med jordarten sediment och torv för att vara till stöd i planeringsarbetet.

4.4 Slutsatser

Sett över hela studieområdet har Sveaskogs markfuktighetskartor en låg tillförlitlighet när de klassas med k-NN för att överensstämma med fältbestämda markfuktighetsklasser. Den datorklassade markfuktigheten stämmer då överens med den fältbestämda markfuktighetsklassen i knappt hälften av fallen. Jordarten har en stor påverkan på tillförlitligheten. På områden med jordarten morän kan en tillförlitlighet på 65 % uppnås. Förekomsten av diken påverkar inte tillförlitligheten i någon större utsträckning.

Markfuktighetskartorna har låg tillförlitlighet när de datorklassas för att överensstämma med fältbestämda bärighetsklasser.

Markfuktighetskartorna som stöd i Sveaskogs verksamhet bör användas med försiktighet och markfuktigheten bör verifieras vid besök i fält.

5 REFERENSER

- Arnborg, T. (1964). *Det Nordsvenska Skogstypscemat*. Stockholm: Svenska skogsvårdsföreningen.
- Bergkvist, I. & Friberg, G. (2016). *Så Påverkar Arbetsrutiner och Markfuktighetskartor Körskador i Skogsbruket - Arbetsrapport 904*. Uppsala: SkogForsk.
- Bergkvist, I., Friberg, G., Mohtashami, S. & Sonesson, J. (2014, a). *Markfuktighetskartor Ger Bra Bild av Verkligheten*.
<http://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2014/Markfuktighetskartor-ger-bra-bild-av-verkligheten/> [2016-09-19]
- Bergkvist, I., Friberg, G., Mohtashami, S. & Sonesson, J. (2014, b). *STIG-projektet 2010-2014 - Arbetsrapport 818*. Uppsala: SkogForsk.
- Brady, N. C. & Weil, R. R. (2002). *The Nature and Properties of Soils*. 13 edn. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Campbell, D. M.H., White, B. & Arp, P. A. (2013). Modelling and Mapping Soil Resistance to Penetration and Rutting Using LiDAR-derived Digital Elevation Data. *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 68(6), ss. 460-473.
- Carlsten, P. (1988). *Torv - Geotekniska Egenskaper och Byggmetoder*. Linköping: Statens Geotekniska Institut.
- Charlesworth, P. (2005). *Soil Water Monitoring: An Information Package*. Canberra: Land & Water Australia.
- Congalton, R. G. (1991). A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing Environment*, vol. 37(1), ss. 35-46.
- Drott, A. (2016). *Kunskapssammanställning Skogsbruk på Torvmark*. Jönköping: Skogsstyrelsens böcker och broschyrer.
- Duda, R. O., Hart, P. E. & Stork, D. G. (2000). *Pattern Classification*. New Jersey: Wiley-Interscience.
- Eagleson, P. S. (1978). Climate, Soil and Vegetation: 1. Introduction to Water Balance Dynamics. *Water Resources Research*, vol. 14(5), ss. 705-712.
- Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. (1969). *Terrängtypschema för Svenskt Skogsbruk*. Stockholm: Forskningsstiftelsen Skogsarbeten.
- Greacen, E. L. & Sands, R. (1980). Compaction of Forest Soils. A Review. *Australian Journal of Soil Research*, vol. 18, ss. 163-89.
- Gregory, S. V., Swanson, F. J., McKee, A. & Cummins, K. W. (1991). An Ecosystem Perspective of Riparian Zones. *Bioscience*, vol. 41(8), ss. 540-550.

- Lantmäteriet. (2015). *Produktbeskrivning: Laserdata. Dokumentversion 2.2.*
<http://www.lantmateriet.se/globalassets/kartor-och-geografisk-information/hojddata/produktbeskrivningar/laserdat.pdf> [2016-09-19]
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W. & Chipman, J. W. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation*. 7edn. Hoboken: John Wiley & Sons Inc.
- Lundin, L. (Institutionen för Mark och Miljö, SLU). *MarkInfo*. www-markinfo.slu.se [2016-04-20]
- Lundmark, J-E. (1988). *Skogsmarkens Ekologi del 2 - Tillämpning*. Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Lundqvist, L., Lindroos, O., Hallsby, G., & Fries, C. (2014). *Skogsskötselserien nr 20; Slutavverkning*. Jönköping: Skogsstyrelsens förlag.
- Magnusson, T. (2009). *Skogsskötselserien nr. 13; Skogsbruk-Mark och Vatten*. Jönköping: Skogsstyrelsens förlag.
- Moore, I., Grayson, R. & Ladson, A. (1991). Digital Terrain Modelling: A Review of Hydrological, Geomorphological, and Biological Applications. *Hydrological Processes*, vol. 5, ss. 3-30.
- Murphy, P., Olgivie, J. & Arp, P. (2009). Topographic Modelling of Soil Moisture Conditions; a Comparison and Verification of Two Models. *European Journal of Soil Science*, vol. 60(1), ss. 94-109.
- Naghdi, R. & Solgi, A. (2014). Effects of Skidder Passes and Slope on Soil Disturbance in Two Soil Water Contents. *Croatian journal for Forest Engineering.*, vol. 35(1), ss. 73-80.
- Naturvårdsverket. (2012). *De Svenska Miljömålen - En introduktion*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket. 2014. *Vattenportalen*. <http://www.vattenportalen.se/>[2016-09-19]
- Paavilainen, E. & Päivänen, J. (1995). *Peatland Forestry - Ecology and Principles*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Päivänen, J. & Hånell, B. (2012). *Peatland Ecology and Forestry: A Sound Approach*. Helsinki: Department of Forest Ecology, University of Helsinki.
- Riksskogstaxeringen. (2014). *Riksskogstaxeringens Fältinstruktion*. Umeå: Institutionen för skoglig resurshushållning, Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Sarkkola, S., Hökkä, H., Ahti, E., Koivusalo, H. & Nieminen, M. (2012). Depth of Water Table Prior to Ditch Network Maintenance is a Key Factor for Tree Growth Response. *Scandinavian Journal of Forest Research*, vol. 27(7), ss. 649-65
- Schelker, J., Kuglerová, L., Eklöf, K., Bishop, K. & Laudon, H. (2013). Hydrological Effects of Clear-cutting in a boreal forest - Snowpack Dynamics, Snowmelt and Streamflow Responses. *Journal of Hydrology*, vol. 484, ss. 105-114.

- Skogsindustrierna & LRF Skogsägarna. (2014). *Branschgemensam Miljöpolicy om Körskador på Skogsmark*. Stockholm: Skogsindustrierna.
- Sonesson, J., Mohtasami, S. & Bergkvist, I. (2012). *Beslutsstöd och Metod för att Minimera Markpåverkan vid Drivning - Arbetsrapport 727*. Uppsala: SkogForsk.
- Sonesson, J., Mohtasami, S., Bergkvist, I. & Friberg, G. (2014). *Bättre Planering Minskar Körskadorna*. Uppsala: SkogForsk.
- Sveaskog. Pressmeddelande: Ny Karta ska Minska Körskadorna.
[http://www.sveaskog.se/press-och-nyheter/nyheter-och-pressmeddelanden/2015/ny-karta-ska-minska-korskadorna/\[2016-12-20\]](http://www.sveaskog.se/press-och-nyheter/nyheter-och-pressmeddelanden/2015/ny-karta-ska-minska-korskadorna/[2016-12-20])
- Sörensen, R., Zinko, U. & Seibert, J. (2006). On the Calculation of the Topographic Wetness Index: Evaluation of Different Methods Based on Field Observation. *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 10, ss. 101-112.
- Terzaghi, K., Peck, R. B. & Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 3edn. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Troedsson, T. (1955). Vattnet i Skogsmarken; Studier med hänsyn särskilt till ytvattnets, sjunkvattnets och grundvattnets uppkomst och sammansättning. *Kungl. Skogshögskolans Skrifter*, vol. 20.
- Ågren, A. M., Lidberg, W. & Ring, E. (2015). Mapping Temporal Dynamis in a Forest Stream Network - Implications for Riparian Forest Management. *Forests*, vol. 6(9), ss. 2982-3001.
- Ågren, A., Lidberg, W., Strömgren, M., Ogilvie, J. & Arp, P. (2014). Evaluating Digital Terrain Indices for Soil Wetness Mapping - a Swedish Case Study. *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 18, ss. 3623-3634.

Personlig kommunikation

Walter, F. Dianthus AB. Via mailkontakt den 16 Januari 2017.

SENASTE UTGIVNA NUMMER

- 2015:10 Författare: Joakim Jansson
Rehabilitation in a tropical secondary rain forest in Malaysian Borneo – Early effects of canopy properties on light conditions at the forest floor
- 2015:11 Författare: Adam Klingberg
Tillväxt, överlevnad och skador för provenienser av Banksianatall (*Pinus banksiana*, Lamb.) i norra Sverige
- 2015:12 Författare: Rasmus Häggqvist
Skötselplan för Gammlia skogen
- 2015:13 Författare: Elisabet Ekblad
Förutsättningar för naturhänsyn i bestånd med contortatall (*Pinus contorta*)
- 2015:14 Författare: Jon Wikström
Utvärdering av förmågan hos Wet Area Mapping (WAM) att beskriva markbärigheten på skogsmark intill vattendrag
- 2015:15 Författare: Jenny Tjernlund
Grundvattenkemin tre år efter askgödsling på djupa torvmarker i Norrland
- 2015:16 Författare: Anton Hammarström
Utveckling av en modell för bärighetsklassificering av skogsmark
- 2016:1 Författare: Gustaf Dal
Tree cover and tree traits affects soil carbon and soil compaction in Parklands in Central Burkina Faso
- 2016:2 Författare: Julia Mellåker
Degradation and restoration method interact to affect the performance of planted seedlings in tropical rainforest restoration – evidence from plant functional traits
- 2016:3 Författare: Pia Sundvall
Kväverikt spillvatten från sprängämnesproduktion – potentiell råvara i gödsel?
- 2016:4 Författare: Marcus Larsson
Betydelsen av krukstorlek, odlingstäthet och planteringspunkt vid etablering och tillväxt hos täckrotsplanter – Analys av Jackpot & Powerpot
- 2016:5 Författare: Elin Kollberg
Tidiga tillväxteffekter av kvävetillförsel på SeedPAD och plantor
- 2016:6 Författare: Lukas Holmström
Restoration of degraded tropical rainforests through gap and line planting: Effects on soil and light conditions and seedling performance
- 2016:7 Författare: Lina Edgren
Naturvård och efterbehandling i Masugnsbyns dolomittäkt
- 2017:1 Författare: Johan Åhs
The influence of precipitation and nitrogen fertilization on aboveground tree growth and how this varies across small-scale microtopography gradients in *Pinus sylvestris* stands in northern Sweden

Hela förteckningen på utgivna nummer hittar du på www.seksko.slu.se